



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES
DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

Autor

Pablo Nicolas Jaramillo Campoverde

Año
2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA
INDUSTRIA LÁCTEA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesora Guía

MSc. Viviana Pavlova Sigcha Terán

Autor

Pablo Nicolas Jaramillo Campoverde

Año

2020

DECLARACIÓN DE PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, análisis de la efectividad de coagulantes a base de taninos para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea, a través de reuniones periódicas con el estudiante Pablo Nicolas Jaramillo, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Viviana Pavlova Sigcha Terán
Máster en Gestión Integral del
Agua
CI: 172221616-3

DECLARACIÓN DE PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, análisis de la efectividad de coagulantes a base de taninos para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea, de Pablo Nicolas Jaramillo Campoverde, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



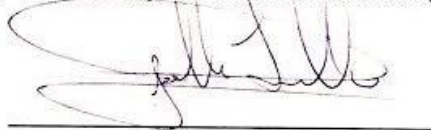
Miguel Ángel Gualoto Oñate

Máster of science en Biología

CI: 170742935-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes".



Pablo Nicolas Jaramillo Campoverde

CI: 110391520-1

AGRADECIMIENTO

A DIOS por darme la sabiduría y guiarme por buen camino para poder alcanzar mis metas, a mis padres por siempre estar incondicionalmente a la distancia velando por mí. A mi tutora de tesis y al docente corrector por guiarme en este trabajo y finalmente a mis amigos cercanos que fueron muy importantes en mi carrera universitaria.

RESUMEN

El crecimiento industrial a nivel mundial tiene un incremento importante, generando afectaciones a la calidad del agua por procesos que este conllevan; la industria láctea, siendo una de los pilares industriales en el área alimentaria, aporta con carga contaminante. Al no tener una gestión de los vertidos contaminados ocurren problemas sociales, económicos y ambientales. La gestión más habitual de aguas contaminadas por incidencia de la industria es por medio de procesos físicos, químicos y biológicos en las plantas de tratamiento que las depuren. Este estudio busca una alternativa menos contaminante para el proceso de coagulación-floculación a partir de taninos vegetales de especies nativas como biocoagulantes, con el fin de evaluar la efectividad en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

Las especies vegetales nativas utilizadas en este estudio fueron el guarango y el chocho, estas tienen un alto contenido de taninos siendo convenientes para la elaboración de los biocoagulantes.

Se ha evaluado el poder de remoción frente a parámetros como Turbidez, DQO, DBO₅ y STT, respectivamente, para las dos especies vegetales. Se destacó la dosis óptima de 1ml de biocoagulante luego de pruebas en el test de jarras, se dispuso de esta dosis luego de corroborar por medio de repeticiones los resultados de remoción que presentaba en relación con otras dosis aplicadas.

Los resultados más representativos de biocoagulante por especie fueron 94.84 % de remoción de turbidez; 21.07% de DQO; 76.57% de DBO₅ y 30.8 % de STT para el biocoagulante de guarango. Mientras para que para la especie Chocho fueron 87.2 % de remoción de turbidez; 35.06 % de DQO; 76.54 % de DBO₅ y 21.98 % de STT. La ocurrencia de remoción se dio en pH ácidos por el tipo de agua residual y la coagulación por barrido equitativamente. El Biocoagulante predominante se determinó mediante análisis estadísticos, tomando como referencia las medias de cada una de las especies, la especie

que presento mayor valor número de medias para cada uno de los tratamientos fue la sobresaliente frente a la otra, el guarango mostro mejoría con 9 medias con valor superior frente al chocho que obtuvo 3 medias por encima. Con esto se aprobó la hipótesis alternativa 2 que expresa “El biocoagulante de la especie vegetal guarango es más eficiente”.

ABSTRACT

Industrial growth worldwide has a significant increase, generating effects on water quality by processes that entail; The dairy industry, which is one of the industrial pillars in the food area, provides a polluting load. By not having a management of contaminated spills, social, economic and environmental problems occur. The most common management of contaminated water due to the incidence of the industry is through chemical, chemical and biological processes in the treatment plants that purify them. This study seeks a less polluting alternative for the coagulation-flocculation process from plant tannins of native species such as biocoagulants, in order to evaluate the solution in the treatment of wastewater from the dairy industry.

The native plant species used in this study were guarango and chocho, these have a high content of tannins that are suitable for the preparation of biocoagulants.

Removal power has been evaluated against parameters such as Turbidity, COD, BOD5 and STT, respectively, for the two plant species. The optimal dose of 1 ml of biocoagulant was highlighted, after tests in the jar test, this dose was available after confirming by means of repetitions the removal results, they present in relation to other applied doses.

the most representative results of biocoagulant by species were 94.84% turbidity removal; 21.07% COD; 76.57% of BOD5 and 30.8% of STT for the guarango biocoagulant. While for the Chocho species they were 87.2% turbidity removal; 35.06% COD; 76.54% of BOD5 and 21.98% of STT. The occurrence of removal occurred in acidic pH due to the type of wastewater and coagulation by equal scanning. The predominant Bicoagualante is determined by statistical analysis, taking as a reference the means of each of the species, the species that presents the mayor value number of means for each of the outstanding fuel treatments compared to the other, the guarango showed improvement with 9

means with superior value in front of the pussy that got 3 means above. This specifies the h_2 that expresses "The biocoagulant of the guarango plant species is more efficient".

ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Alcance	3
1.4 Justificación	4
Capítulo II. Marco Teórico	6
2.1 Contaminación del agua en el Ecuador	6
2.2 Impactos de la industria láctea en los recursos hídricos.....	7
2.3 Tratamiento de aguas residuales en la industria láctea	8
2.4 Coagulantes naturales	9
2.5 Taninos	10
2.5.1. Propiedades de los taninos.....	11
2.5.2 Taninos como biocoagulantes	12
2.5.3 Mecanismo de la biocoagulación.....	13
2.6 Uso de especies vegetales nativas del Ecuador	14
2.6.1 Guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>)	14
2.6.2 Chocho (<i>Lupinus mutabilis sweet</i>)	16
2.7 Normativa nacional para control de vertidos.....	18
3. Capítulo III. Metodología	19
3.1 Selección de las especies vegetales	20
3.2 Recolección de las especies vegetales	20
3.3 Métodos de obtención del almidón (harina) de las especies ..	20
3.4 Extracción de taninos	23
3.5 Caracterización fisicoquímica del agua.....	24

3.5.1 pH y Temperatura	25
3.5.2 Turbidez	25
3.5.3 DQO (Demanda química de Oxígeno)	26
3.5.4 DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno)	27
3.5.5 Sólidos Totales	28
3.6 Coagulación-Floculación	30
3.7 Determinación de Dosis óptima para las dos especies vegetales	31
3.8 Diseño Experimental.....	32
3.9 Pruebas con coagulante Inorgánico PAC (policloruro de aluminio)	33
3.10 Caracterización final	34
4. Capítulo IV. Análisis de resultados y discusión.....	34
4.1 Caracterización inicial de la muestra de agua residual	34
4.2 Obtención de biocoagulante (Taninos)	35
4.3 Dosis óptima de biocoagulantes	35
4.4 Diseño experimental con las especies vegetales	40
4.4.1 Resultados del diseño experimental para la especie guarango	40
4.4.2 Resultados del diseño experimental para la especie Chocho	45
4.4.3 Resultados de la comparación del porcentaje de remoción v del poder coagulante de los taninos vegetales	50
4.4.4 Resultados de la comparación del porcentaje de remoción del poder coagulante de los taninos vegetales vs el Blanco	54
5. Conclusiones y recomendaciones	64
5.1 Conclusiones	64
5.2 Recomendaciones	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS	78

1.Capitulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

La calidad y cantidad del agua de consumo, se ha convertido en una preocupación en todas partes del mundo, debido a que las principales fuentes de agua se encuentran amenazadas por la contaminación generada por descargas de residuos sólidos y líquidos sin tratamiento, consecuencia directa de esto, son afectaciones sociales, económicas y ambientales (Arcila, 2015). La contaminación ambiental, ha crecido espontáneamente gracias al acelerado desarrollo industrial, crecimiento población y el incremento del consumo de bienes y servicios ambientales. Esta presión sobre los recursos, altera la calidad del agua, generando condiciones inseguras para el consumo humano, y problemas de saneamiento e higiene.

El uso de coagulantes inorgánicos de procedencia química como las sales de hierro, aluminio y compuestos sintéticos, son muy efectivos y económicamente accesibles, pero desafortunadamente pueden producir efectos secundarios en el agua tratada como cambios de pH, contaminación secundaria y la presencia de metales pesados. Los lodos residuales del tratamiento, son difíciles de tratar y constituyen un problema que incrementa costos y los riesgos ambientales de su disposición final.

Las alternativas biológicas presentan características relevantes frente a los tratamientos comunes, estas generan lodos más amigables con el ambiente, con carga de metales casi nula, estos lodos libres de toxicidad tienen un uso que no afecta al ambiente. (Arias-Hoyos, 2017).

Para resolver los problemas de contaminación de aguas, en los países desarrollados se emplean alternativas amigables con el medio ambiente, utilizando coagulantes de origen natural en procesos de tratamiento de aguas como es la coagulación-floculación. Teniendo plantas de tratamiento de aguas residuales con menor generación de lodo residual. En los países en

desarrollo también, se han implementado medidas de remediación por la vía biológica la cual a partir de extractos naturales de vegetales o frutos logran intervenir en factores elementales de remediación como la turbidez y clarificación de las aguas (Dorea, 2006).

Los coagulantes naturales tales como, almidón, taninos, etc., se emplean en operaciones de coagulación -floculación en el tratamiento de aguas residuales. Los taninos son producidos en diferentes tejidos vegetales, tales como las hojas, el fruto, las raíces y la corteza (Arias, 2017). Por su naturaleza química son compuestos polifenólicos que tienen la capacidad de adherirse a material particulado, formando moléculas más grandes, que posteriormente se precipitan, de igual forma con sales de metales pesados, alcaloides entre otros.

Estudios de empleo de taninos en calidad de biocoagulantes, han generado buenos resultados, esto ha permitido, fortalecer los programas de investigación y optimización de métodos de extracción y caracterización de taninos, de diferentes fuentes vegetales. De igual forma, crece la búsqueda de especies productoras de taninos (Revelo, 2015).

El uso de semillas de *Moringa oleífera*, en calidad de coagulante natural, ha generado excelentes resultados en la reducción de partículas suspendidas, razón por la que se muestra como un biocoagulante de gran perspectiva de uso (Morales, 2009).

Esta investigación emplea especies nativas vegetales (guarango y chocho) para la extracción del tanino de cada una de ellas y así evaluar la efectividad de su poder coagulante, existe escasa información de uso de taninos a partir de estas especies, se conoce el poder tánico del guarango, este ha sido aplicado en el tratamiento de aguas dando como resultados una disminución de parámetros como la turbidez, DQO Y DBO₅, dejándolos dentro de los límites permisibles.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la efectividad de los taninos de especies nativas como coagulantes para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar la extracción de Taninos en dos especies vegetales nativas: chocho (*Lupinus mutabilis*) y Guarango (*Caesalpinia spinosa*).
- Establecer una comparación sobre la eficiencia de remoción del poder coagulante de los taninos vegetales.

1.3 Alcance

El presente estudio de titulación se enfocará en la utilización de una alternativa a los métodos habituales de tratamiento de aguas residuales en relación al proceso de coagulación - floculación, utilizando bio coagulantes naturales a partir de taninos extraídos de 2 especies vegetales nativas:

- Chocho (*Lupinus mutabilis*)
- Guarango (*Caesalpinia spinosa*)

Con el fin de determinar la eficiencia de remoción se caracterizarán los siguientes parámetros: DQO, DBO₅, ST, pH, T y Turbidez; antes y después del tratamiento en el efluente residual procedente de una industria láctea. Este estudio se efectuará en el laboratorio de la Universidad de las Américas, Udlapark.

1.4 Justificación

La industria alimentaria a nivel mundial, consume grandes cantidades de agua, en consecuencia, genera un considerable volumen de aguas residuales con carga orgánica contaminante (Revelo, 2015).

Es importante establecer una regularización que permita a la industria disminuir sus aguas contaminadas dándole una visión ambiental amigable, y así buscar alternativas en las que se planteen estrategias que utilicen menos cantidad de agua y al mismo tiempo la disminución de la carga contaminante (Ruíz,2017).

En el tratamiento de aguas procedentes de la industria láctea se emplea la coagulación-floculación con coagulantes y floculantes químicos (inorgánicos) de fácil acceso, efectividad en corto tiempo y costos; sin embargo, tienen ciertas desventajas ambientales y económicas (Ramírez,2006).

La producción de coagulantes y floculantes químicos (inorgánicos), económicamente son más costosos que la producción de coagulantes orgánicos, por cuanto para la obtención de coagulantes inorgánicos, se consume mucha energía, incrementa los costos de producción (Díaz, 2014). El empleo de coagulantes inorgánicos tiene como principal desventaja generación de lodos, conformados por sustancias inorgánicas, frecuentemente tóxicas y que generan contaminación secundaria (Cardona,2014), además genera la alteración del pH, la necesidad de empleo de dosis mayores, agitación del agua para estimular el proceso y presencia de personal técnico, para su recolección (Osorno, 2009).

En virtud de esta problemática, se hace indispensable la búsqueda de alternativas amigables con el ambiente, que no alteren las propiedades químicas naturales del agua, de menor costo y lo más importante, que

produzcan lodos menos tóxicos, que no generen impactos ambientales secundarios ni afectaciones a la salud humana. En este contexto, la utilización de bio coagulantes en la etapa de coagulación –floculación darían resultados positivos en la disminución de materia orgánica y turbidez del agua, así como en la generación de lodos residuales de menor toxicidad (Acosta, 2017).

Los biocoagulantes empleados en el tratamiento de aguas más comunes, son fabricados a base de almidón vegetal extraído por diferentes técnicas. Los almidones son utilizados como absorbentes, en calidad de agentes microbianos y para disminuir la cantidad color de aguas contaminadas con colorantes (Revelo, 2015).

En calidad de biocoagulantes, también se emplean los taninos, que, según una serie de investigaciones, cumplen las mismas funciones que los coagulantes inorgánicos, sin generar impactos sobre la calidad del agua ni en la calidad de los lodos residuales. Por otro lado, los métodos de obtención y disponibilidad de los taninos son viables desde el punto de vista económico y tiempo empleado, esto haciendo referencia a las especies en uso, debido a que su presencia en el país abundante. (Revelo A. S., 2014).

No existen referencias bibliográficas del empleo de taninos en el tratamiento de aguas residuales del sector lácteo, es por esto que, la presente investigación puede convertirse en una alternativa tecnológica de tratamiento de este tipo de aguas, que puede no solo tratar eficientemente las aguas residuales, reducir costos operativos, sino también, generar lodos residuales más seguros.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Contaminación del agua en el Ecuador

El agua, es un recurso natural indispensable para la existencia de todas las formas de vida, en especial para los seres humanos, razón por la que se lo considera como un derecho básico para la humanidad (García, s/f).

En la actualidad el abastecimiento y calidad del agua es reducida, para cubrir las necesidades de los seres humanos, situación que tiende a hacerse más crítica debido a que las aguas usadas, no son tratadas y se convierten en una fuente de contaminación con residuos de origen industrial, portadora de: metales pesados, pesticidas, desechos químicos, residuos radioactivos entre muchos más (Korbut, 2008).

Las fuentes de contaminación del recurso agua son: la agricultura con un 65%, la industria con un 25 % y el uso doméstico (actividades de las personas) con un 10%. Las aguas residuales de estas actividades se descargan a los drenajes, alcantarillados o medios naturales, en el suelo sin tratamiento (Milán, 2002).

En el Ecuador, las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos, son las actividades mineras, Hidrocarburíferas y agrícolas, que han generado un impacto ambiental con afectaciones permanentes hacia la salud y los ecosistemas (Nieto, 2011). Según estudios, bajo los 2000 metros de altitud, casi todos los cauces de agua existentes en nuestro país; están contaminados por distintas actividades antropogénicas. Es importante mencionar que, existen muy pocos sistemas de tratamiento de aguas residuales ya sea para el sector rural, como para el sector urbano (Galárraga-Sánchez, 2019).

Uno de los sectores industriales que mayor afectación causan al recurso agua en el Ecuador es la industria láctea, debido a que las tecnologías utilizadas son convencionales y estas no resisten índices de biodegradabilidad, cuando esto ocurre las aguas tratadas aún tiene presencia de contaminantes, generando conflictos legales ya que estos métodos de tratamiento no cumplen la

normativa para los cuales fueron implementados, teniendo así una mala práctica en términos ambientales (Proaño & Gualoto, 2018).

En el Ecuador, por mandato constitucional, el tratamiento de aguas residuales es una competencia municipal, sin embargo, debido a limitaciones de carácter técnico, financiero, de recursos humanos y reducido apoyo del gobierno central, no es factible su ejecución (CEPAL, 2012).

Uno de los sectores industriales que mayor afectación causan al recuso agua en el Ecuador es la industria láctea, su carga contaminante junto con los sistemas de tratamiento inadecuados que se emplean en el país ocasionan impactos en los recursos hídricos.

2.2 Impactos de la industria láctea en los recursos hídricos

Desde el origen de la industria láctea, ha tenido un crecimiento importante, hasta convertirse en una de las más cotidianas y de mayor relevancia para la alimentación de la humanidad. No obstante, de su importancia económica y social, la industria láctea, también es una de las actividades más contaminantes, no solo por el alto consumo de recursos, sino también, por sus efluentes portadores de carga contaminante que afecta, al recurso agua, suelo y atmósfera (Maigua, 2010). Los vertidos de la industria láctea, generalmente tienen tres componentes que son: residuos sólidos, líquidos y productos químicos utilizados en los diferentes procesos de generación de productos elaborados (Groot, 2018).

El consumo de agua en la industria láctea, es de cuatro y diez litros por cada litro de leche producido. La mayoría de las aguas residuales se genera, en las operaciones de limpieza de maquinaria, procesos de tratamiento, instalaciones, por ello contienen restos de productos químicos como detergentes, ácidos y desinfectantes (Mayorga, 2010).

Las descargas de aguas residuales causan efectos sobre los recursos hídricos, estos pueden ser el aumento de la carga orgánica, cambios de turbidez, variaciones en el pH, el aumento de solidos suspendidos y nitrógeno. Estas

afectaciones a las características físico-químicas del agua se debe a que las aguas contaminadas pueden contener: grasas, aceites, metales pesados hasta incluso residuos fecales (Denicia, 2009).

2.3 Tratamiento de aguas residuales en la industria láctea

Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por su fuerte carga orgánica, que contiene: grasas, aceites, proteínas, material fecal, entre otros. Asimismo, poseen un elevado DQO y DBO₅ con concentraciones que oscilan entre los 110.000 mg/l (DBO₅) y 210.000 mg/l (DQO). Adicionalmente, las concentraciones de nitratos y fosfatos, son altas, y en su mayoría vienen de la línea de producción de quesos (González, 2014).

Las aguas residuales procedentes de la industria láctea, frecuentemente se tratan por métodos fisicoquímicos y biológicos, la diferencia entre estos, es el costo económico que representa cada uno; por lo general los métodos fisicoquímicos tienen un costo mayor frente a los biológicos (Bedoya, 2009).

La suma de agua residual que se forma a partir de un producto lácteo está entre 2 a 3 litros de agua residual/kilogramo (López, 2016).

En el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea ocurren tres procesos: los físicos, químicos y biológicos. El preparamiento siendo un físico separa sólidos de mayor tamaño que puede generar atascos, el tratamiento primario separa las partículas que están en suspensión que lograron evadir el tratamiento anterior, el tratamiento secundario (Biológico), aquí se aplican microorganismo que eliminan con la materia orgánica disuelta y finalmente está el tratamiento terciario en el cuales se aplican químicos para desinfectar el efluente final (Cuenca, 2012).

Las aguas tratadas de la industria láctea, pueden ser reutilizadas en el lavado de los equipos e instalaciones, además de ser empleadas en riego de parques, jardines y áreas de recreación (Tirado, 2016).

No existen estudios de biocoagulante para el tratamiento de aguas de la industria láctea, sin embargo, la aplicación de coagulantes químicos sigue siendo de uso cotidiano en las PTAR.

2.4 Coagulantes naturales

Los coagulantes naturales, conocidos también como biocoagulantes, son extractos de diferentes tejidos vegetales: hojas, corteza de árboles, raíces, semillas y vainas, que por sus principios activos naturales pueden cumplir la función de coagulantes o floculantes en el tratamiento de aguas residuales.

En virtud de su relevancia, es importante ampliar el número de taninos de especies vegetales utilizadas, dando amplitud a nuevos estudios y con esto se estimula el uso a los coagulantes orgánicos (biocoagulantes) (León, Cervantes, Pérez, & Montalvo, 2017).

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de los biocoagulantes

Ventajas y desventajas de los Biocoagulantes	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Costos bajos. • Bajas concentraciones. • No son tóxicos. • No daños a la salud. • Poder antimicrobiano. • Sus residuos no generan contaminación. • No producen lodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No son tan eficientes como algunos coagulantes inorgánicos como es el sulfato de aluminio. • El rendimiento no es el mismo para todos. • El exceso de dosis puede provocar estabilidad coloidal.

Adaptado de (Arcila, 2015).

En calidad de coagulantes naturales, pueden ser empleado para el tratamiento de aguas residuales, actuando como los causantes de la desestabilidad coloidal, lo que implica la precipitación de partículas, entre ellos podemos mencionar a los taninos, que cumplen un papel importante dentro de la clarificación de aguas.

2.5 Taninos

El término tanino fue determinado por Seguin (1796), para señalar la presencia en el extracto de diferentes tejidos vegetales, de sustancias que son capaces de adherirse a pieles y retrasar su putrefacción (Musa & Gasmelseed, 2012).

Los taninos son compuestos polifenólicos, de sabor agrío, de estructura semicompleja y de naturaleza vegetal, su masa molecular es considerada como elevada, gracias a su capacidad de adherirse a moléculas de gran tamaño como proteínas e hidratos de carbono, se los emplea en la curtiembre de pieles. Por ser compuestos hidrosolubles, pueden facilitar la disolución coloidal en aguas de distinta naturaleza (Olivas, Medrano, González, & Parrilla, 2015).

Los taninos se clasifican en:

Taninos hidrolizables: conocidos también como pirogálicos o gálicos, en presencia de algunos ácidos llegan a hidrolizarse en glucosa y en ácido gallico o elágico, por lo tanto, se forman los galotaninos y los elagiotaninos. Estos se caracterizan por que su peso molecular es menor a los condensados y su masa molecular está entre los 600 y 3000 daltons (Alvarez, 2012).

Los galotaninos más conocidos son:

Especies Vegetales (Galotaninos)

- *Quercus infectoria* (agallas)
- *Rhus semisalata* (agallas)
- *Rhus coriaria* (frutos)
- *Ceasalpinia spinosa* (tara)

Los Elagiotaninos más conocidos son:

Especies Vegetales (Elagiotaninos)

- *Quercus robur* (madera de roble)
- *Quercus petraea* (madera de roble)
- *Quercus alba* (madera de roble)
- *Castanea sativa* (castaño)

- *Terminalia chebula*
(mirabolano)

Taninos condensados: se caracterizan por su bajo poder ~~saber~~ astringente, se agrupan en profisetinidinas y proantocianidinas. En la naturaleza las proantocianidinas se encuentran en la uva (*Vitis vinífera*) y las profisetinidinas en la madera del quebracho (*Schinopsis lorentzii*) (Ricardo, Gisela, Beleño, Triny, & Enrique, 2014). Son solubles en agua, resistentes a la ruptura mediante hidrólisis y su peso molecular se encuentra entre 1000 y 5000 daltons. Recientes investigaciones, han determinado una nueva clase de taninos más conocidos como florotaninos, encontrados en varias especies de algas oscuras (Gómez, Huovinen, & Valdivia, 2018)

2.5.1. Propiedades de los taninos

Los taninos, debido a su capacidad de asociarse con varias sustancias, forman complejos, que hallan uso en ramas de la industria, incluyendo en la medicina.

Desde épocas antiguas, el principal uso de los taninos fue en la industria del curtido de pieles. En la actualidad se los usa ocasionalmente a pequeña escala o artesanalmente (Urieta, Ochoa, & Rutiaga, 2013).

Las propiedades astringentes de los taninos, ha sido aprovechada en la industria farmacológica en la síntesis de fármacos de uso interno y tópica: antidiarreicos para contrarrestar diarreas infecciosas vasoconstrictores, para diferentes tratamientos en problemas vasculares como son las hemorroides, varices y en heridas de menor grado. En cuanto al uso tópico, se utiliza en el tratamiento de afecciones de la piel, dermatosis y en la fabricación de tónicos para cosmética (Vázquez, Parrilla, López, Medrano, & Rosa, 2014).

Sus propiedades antioxidantes se deben a que se comportan como receptores de radicales libres; en consecuencia, funcionan como inhibidores enzimáticos que logran la conservación de algunos principios activos de algunas drogas.

Una de las aplicaciones de los taninos es, en calidad de antídoto, en algunos envenenamientos, debido a su propiedad de formar complejos de mayor tamaño, que contrarrestan los efectos tóxicos de los venenos (Marín, 2014).

2.5.2 Taninos como biocoagulantes

Los biocoagulantes son metabolitos secundarios, presentes en abundancia en tejidos vegetales de algunas plantas. La especie vegetal productora de taninos, más conocida a nivel mundial es, la *Acacia mearnsii de wild*, conocida vulgarmente como Mimosa (Arcila & Peralta, 2015).

Los metabolitos secundarios que con más frecuencia son empleados como biocoagulantes taninos de especies vegetales del género: *pinus*, *Acacia*, *schinopsis* y *quercus*. Estos biocoagulantes son grandes adsorbentes de compuestos de origen catiónico que se hallan en solución. La producción masiva y su comercialización puede constituirse en una alternativa real a los coagulantes convencionales (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013).

Un biocoagulante producido comercialmente a partir de taninos, de la *acacia negra*, conocido como Tanfloc, este es un polímero catiónico capaz de precipitar proteínas contenidas en el agua de distinta procedencia. En un estudio de aplicación, Tanfloc tuvo una efectividad de remoción del 100% en parámetros de turbidez (Singh, 2015). Este biocoagulante, puede convertirse en una competencia de los coagulantes convencionales, principalmente el sulfato de aluminio, el mismo que genera contaminación secundaria al formar lodos con presencia de metales (Zolett & Jabur, 2013).

A pesar de los éxitos logrados a nivel de laboratorio con resultados muy favorables, la falta de investigación, sobre el uso de extractos vegetales en calidad de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales, en plantas de tratamiento real, limitan las posibilidades de su aplicación y masificación, obligando al uso de coagulantes inorgánicos, con las consecuencias antes

mencionadas de generación de lodos tóxicos y contaminación secundaria (Gil, 2012).

2.5.3 Mecanismo de la biocoagulación

Los biocoagulantes no generan toxicidad en el medio por sus propiedades bioactivas, integradas en las proteínas, polisacáridos, alcaloides, mucilagos y en los taninos, Los biocoagulantes en el tratamiento de aguas residuales tienen la capacidad de desestabilizar los coloides (sólidos en suspensión) (Tupiño, 2016).



Figura 1. Desestabilización coloidal de partículas.

Tomado de (Nieto y Orellana,2011).

La formación de flóculos ocurre ya que el biocoagulante está cargado positivamente y por su solubilidad estas cargas positivas funcionan como imanes, atraen y se asocian con las partículas negativas, dependiendo del agua residual estas partículas pueden ser bacterias, actillas, materia orgánica. La neutralización de las partículas y colisión de las mismas forma estos conocidos flóculos que decaen, dando así un agua más clara y limpia (Quispe, 2018).

2.6 Uso de especies vegetales nativas del Ecuador

El Ecuador es uno de los países con mayor biodiversidad del mundo. En el año de 1999 se dio a conocer la caracterización de los diferentes tipos de vegetación que se encuentran en el país, sumando en total un número de 71 especies botánicas distribuidas en las 3 regiones del Ecuador, exceptuando las islas Galápagos (Mendoza, 2012).

El uso de taninos, extraídos de especies vegetales, en el tratamiento de aguas residuales, es un tema importante de investigación en los últimos años. Los resultados obtenidos, son positivos, presentan ventajas, como la reducción de costos debido al bajo consumo de energía, menor impacto ambiental, gracias a que no se produce contaminación secundaria (Martelo, 2012).

Entre las especies locales empleadas en el Ecuador para el tratamiento de aguas de distinta procedencia tenemos: *Moringa oleífera* (como adsorbente de colorantes y clarificador de aguas turbias), *Moringa stenopetala* (como antimicrobiano y remediación de aguas residuales de curtiembres), *Caesalpinia spinosa* (como adsorbente de colorantes y remediación de aguas residuales de curtiembre y textil), *Cicer arietinum* (remediación de aguas residuales de curtiembres), *Dolichos lablab* (clarificador de agua turbia) (Banchon, Baquerizo, & Zambrano, 2016).

2.6.1 Guarango (*Caesalpinia spinosa*)

El nombre tara o guarango (*caesalpinia spinosa*), proviene del aimara. Tara es exclusivo para Bolivia y Perú; en tanto que guarango Campeche o vinillo, para Ecuador. Se le dio este nombre por la forma que tiene su semilla. Taxonómicamente *Caesalpinia* es el nombre genérico de esta especie que fue concedido en nombre del botánico Andrea Cesalpino, mientras que *spinosa* es el epíteto latino que tiene como significado “con espinas” (GTZ-SNV, 2004).

El Guarango, se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes y en sus valles interandinos, siendo parte del Monte Ribereño y el Monte Espinoso, que va desde los 800 msnm, hasta los 3.200 msnm. El guarango es un árbol silvestre, cuyo fruto es una vaina, que se usa cuando está madura y seca, de color rojizo. Desde las culturas preincas e incas, ha sido utilizada en la elaboración de tinturas para textiles, cerámica, curtido de pieles y medicina (Villanueva, 2007).

El principal exportador de la especie es Perú. En el Ecuador y Bolivia la gran mayoría de ejemplares han sido talados, los ejemplares existentes son cultivados por pequeños agricultores ubicados en lugares alejados, de difícil acceso y de topografía irregular. En Ecuador, la tara se encuentra distribuida en las provincias de Imbabura, Chimborazo y Loja (Quinto, 2012).

La presencia de taninos en el guarango es alta, su porcentaje varía en dependencia de su distribución y condiciones naturales a las que se encuentra sometida la especie. Bolivia, es el país donde la tara tiene el mayor porcentaje de taninos, pudiendo llegar hasta 80%, seguido por Ecuador, con un 75% de taninos; y, finalmente Perú donde la especie tiene hasta un 62 % (Quinto, 2012).

Estudios de aplicación del guarango como biocoagulante, han dado resultados positivos y buenos en comparación con los coagulantes comunes. Se ha logrado disminuir la turbidez hasta más de un 75 %, disminuir la DQO hasta niveles menores a los límites establecidos por el TULSMA en aguas residuales de la industria textil (Banchón, 2015).



Figura 2. Vainas de guarango (*caesalpinia spinosa*).

tomado de (ASOCAM,2008).

2.6.2 Chocho (*Lupinus mutabilis* sweet)

El lupino de los andes, cuyo nombre varía dependiendo del país o región, en Ecuador y Colombia se lo conoce como chocho, en Perú como tarwi y en España como Altramuz. Es una especie de los Andes centrales, no se conoce el origen exacto de esta leguminosa, pero se habla que fue encontrada en criptas de la famosa cultura nazca, las mismas que se asentaron entre los 100-180 a. de C., también encontrada en recipientes de la cultura Tihuanaco (800-100 d. de C.)

Taxonómicamente *Lupinus* procede del latín lupus que significa lobo, se le dio este nombre ya que se tenía la creencia que esta especie eran perjudiciales para los suelos, hoy en día se desmiente esa aclaración e incluso se sabe que tiene la capacidad para fijar el nitrógeno al suelo, y el termino *mutabilis* viene del epíteto latino que significa “mutable” (Planchuelo & Fuentes, 2018).

El chocho se ha distribuido por América Latina, desde laderas montañas hasta los valles de países como Argentina, Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia y Ecuador (Núñez, 2015).

El Ecuador es el único país, donde se emplea el grano fresco desamargado en la alimentación. En la sierra, el 70% de la población lo consume, un 87% de

personas del Oriente y un 19% en la Costa. La demanda es de 10.000 T/año con tendencia a incrementar (León E. , 2005).

Esta especie se caracteriza por su elevado contenido de proteínas, grasas y aceites; siendo el reemplazo ideal de la soya, lo que permite disminuir sus importaciones en toda la comunidad andina de Latinoamérica (Castañeda, M, & Castillo, 2008).

Las características astringentes que presenta el chocho, se deben a la presencia de taninos, de color particular amarillento claro, en cantidades moderadas (Ranilla, 2009).



Figura 3. Planta de chocho.

Tomado de (Boliviaagra,2011)

Existen leyes y normativas nacionales que tienen un fin común que es lograr una menor contaminación hacia los cuerpos hídricos y en caso de haberla, que esta se encuentre dentro de los límites permisibles, el uso especies nativas como foco de estudio y aplicarlas como biocoagulantes en aguas residuales podría ser un factor importante para lograr el control de vertidos.

2.7 Normativa nacional para control de vertidos

Las descargas de aguas residuales que provienen de actividades industriales, hogares, proyectos y obras etc., son una preocupación del MAE, debido a que afectan a los cuerpos de agua, suelo y aire del ecosistema donde se depositan (Ministerio Del Ambiente, 2017).

El Código Orgánico del Ambiente (COA) en el capítulo IV que trata sobre “Monitoreo y seguimiento” en los artículos. 208 y 209, señalan la obligatoriedad del monitoreo a descargas y vertidos por parte de los generadores, sus resultados son de carácter público, de igual manera, señala que la autoridad ambiental se encargará de los lineamientos para la caracterización de las descargas y vertidos, los mismo que se realizaran en laboratorios acreditados.

El acuerdo ministerial AM 097-A, señala en su última actualización (2015) los límites máximos permisibles de descarga y vertidos a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 2.

Límites permitidos de descarga para cuerpos de agua dulce (AM 097-A, TABLA 9)

Parámetros	Expresado cómo	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO 5	mg/l	100
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Temperatura	°C		Condición natural +- 3
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Turbiedad		NTU	50-100

Adaptado de (AM 097-A, 2015).

2. Capítulo III. Metodología

La metodología del presente trabajo de titulación se resume de la siguiente manera:

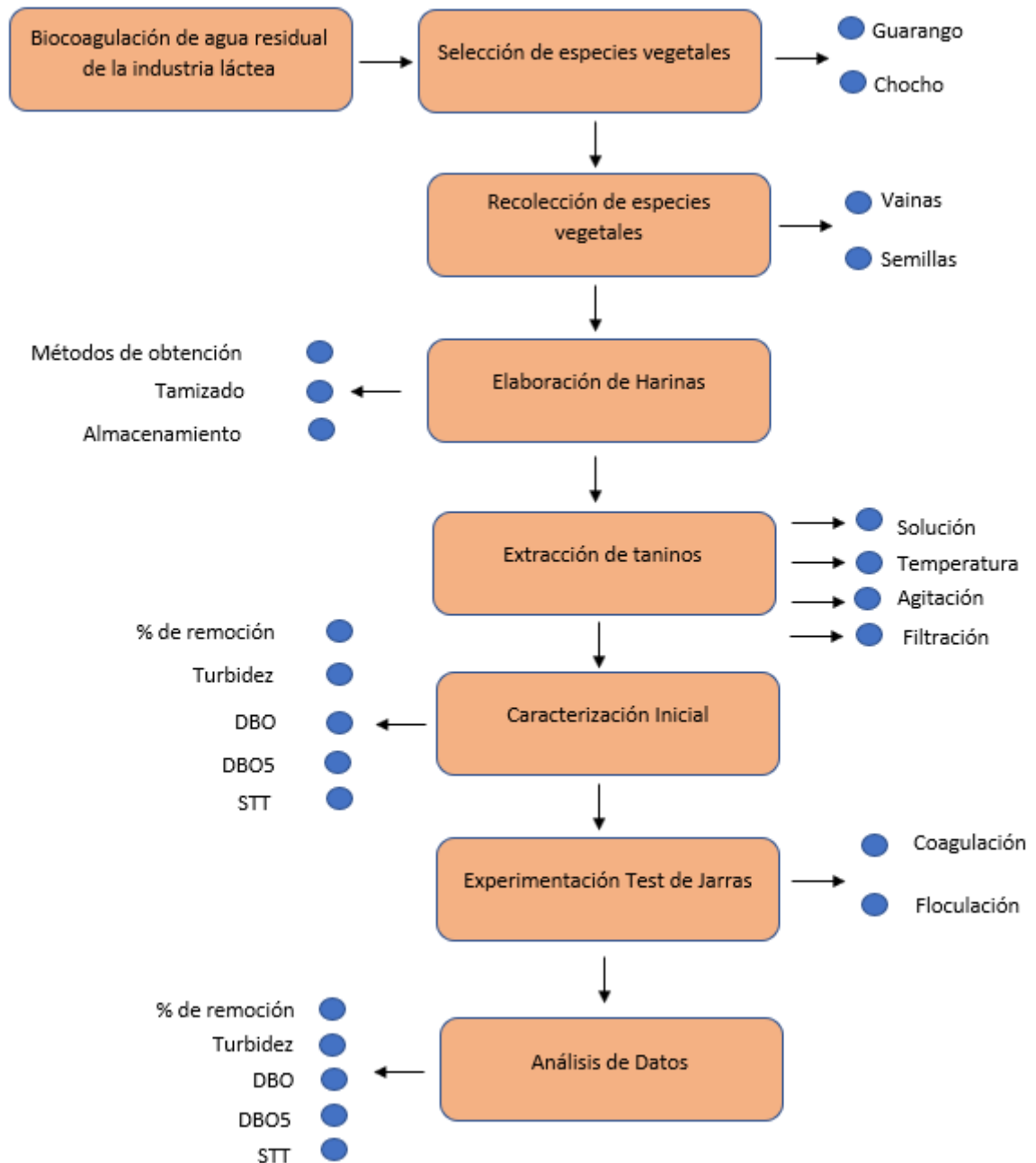


Figura 4. Diagrama del esquema de operaciones unitarias del trabajo de titulación.

3.1 Selección de las especies vegetales

Las especies seleccionadas para el presente estudio, el guarango (*Caesalpinia spinosa*) y el Chocho (*Lupinus mutabilis*) se eligieron considerando, su apreciable contenido de taninos, disponibilidad y bajo costo. Sus taninos, constituyen una alternativa segura y eficiente a los coagulantes comunes inorgánicos.

3.2 Recolección de las especies vegetales

Guarango (*Caesalpinia spinosa*): de esta especie vegetal se recolectaron las vainas maduras, las vainas húmedas fueron descartadas, de igual manera las maltratadas. La recolección se realizó en la provincia de Pichincha, en la Comuna de San José de Cocotog, perteneciente a la parroquia de Zámbriza (Altitud: 2800 y 3500 m.s.n.m). Las vainas fueron depositadas en fundas plásticas y aisladas en un ambiente templado (15 a 20 ° C) y con HR de 65 - 70% (Játiva, 2011).

Chocho (*Lupinus mutabilis*): para la obtención de la harina de esta especie se recolectaron las semillas que se encuentran dentro de las vainas que, contienen de 3 a 8 granos por vaina. Las vainas se recolectaron en la provincia de Pichincha al Nororiente de Quito sector San José de Cocotog (Altitud: 2800 y 3500 m.s.n.m) y fueron aisladas en fundas plásticas a una temperatura entre 7 - 14 ° C y una HR entre 70 - 80% (Castillo, 2011).

3.3 Métodos de obtención del almidón (harina) de las especies

Guarango (*Caesalpinia spinosa*): para la obtención de la harina de esta especie el primer paso consistió en dar una limpieza a las vainas y quitar todo tipo de materiales como ramas, piedras, etc.

Posterior a ello, se seleccionaron las vainas más óptimas para el proceso de molido, es decir las más secas. Vainas podridas, húmedas o en mal estado fueron desechadas.

El despepitado de las vainas, o cotidianamente conocido como trilla, se lo hizo manualmente, que es más sencillo; aquí también se separó la fibra de la semilla con el polvo de la vaina.

La molienda se realizó en un molino eléctrico. En este proceso se logró homogenizar el tamaño de la partícula uniforme. El tamizado de la harina fue manual, con un tamiz de número de malla 200 (0.75 milímetros), según Játiva (2011), el tamaño adecuado de partícula para la extracción de los taninos tiene que ser aproximadamente 74 μm .

El almacenamiento de la harina, realizó en bolsas plásticas, en ausencia de luz y en un ambiente seco.

Chocho (*Lupinus mutabilis*): La harina de esta especie, se obtuvo a partir de la semilla, que fueron trilladas de la vaina, escogiéndose las mejores. Para el efecto fue necesario no desamargar para evitar la pérdida de los taninos; en consecuencia, la molienda de la semilla, se efectuó sin esta operación (Cerón, 2017).

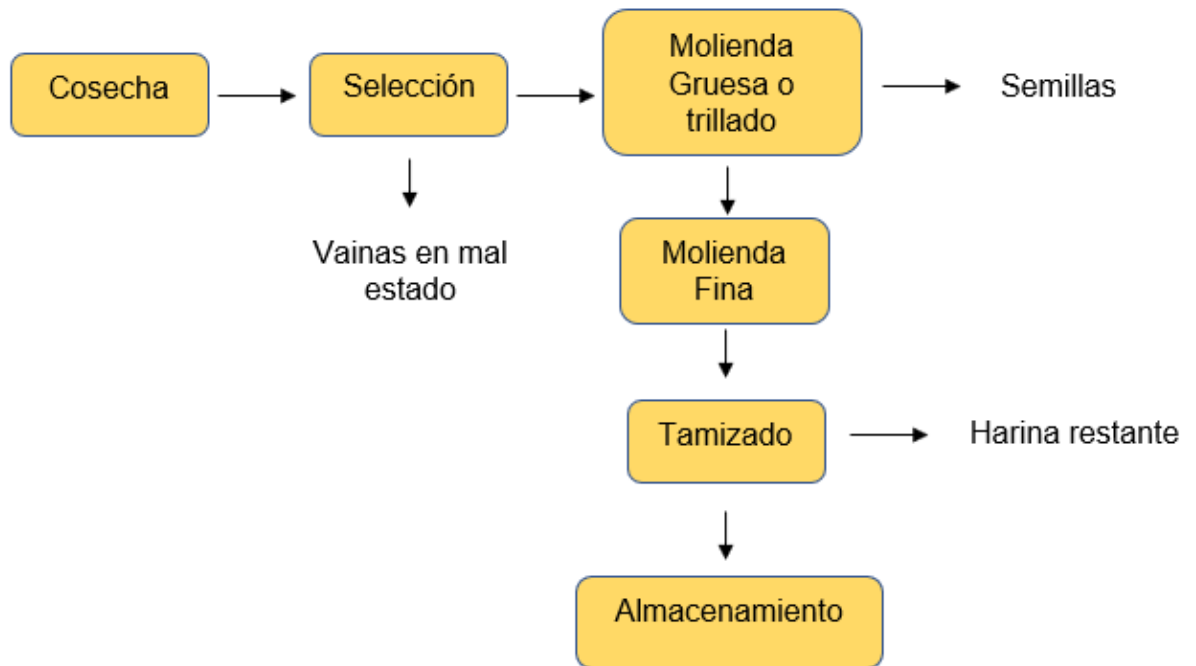


Figura 5. Diagrama del proceso de obtención de la harina de guarango.

El proceso de molienda y el tamaño de partícula, fue el mismo que para las semillas de guarango, este se aprecia en la figura 6.

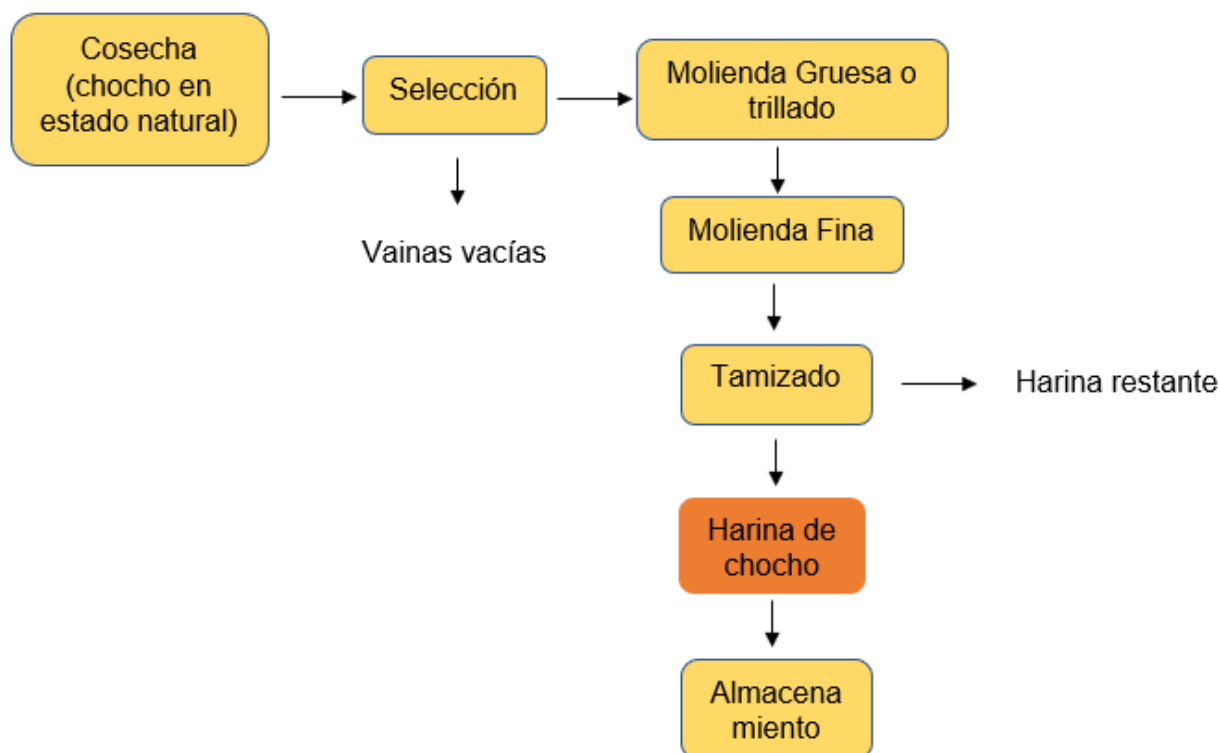


Figura 6. Diagrama del proceso de obtención de la harina de chocho.

3.4 Extracción de taninos

La extracción de taninos, se efectuó, empleando 0.2 gramos de harina de las especies vegetales por cada ml de agua destilada. Se preparó un volumen de 400 ml de solución de cada especie experimental.-La activación del almidón se realizó por calentamiento de las soluciones a 60 °C durante un periodo de 10 minutos, de esta forma se extrajo las sustancias tánicas. La temperatura se mantuvo constante, para evitar la extracción de sustancias no tánicas (Villanueva, 2007). Las muestras se agitaron durante 30-35 minutos a una velocidad de 200 rpm. Los sólidos suspendidos fueron filtrados con papel filtro Whatman (125mm). Finalmente, el líquido restante se diluyó con 50 ml de metanol a una concentración de 99 % (Zivkovic,2009). Esta solución se es el biocoagulante; que se empleó para tratar 300 ml de muestra problema (agua residual), mediante un test de jarras con sus respectivas repeticiones (Revelo, Proaño, & Banchón, 2015).

3.5 Caracterización fisicoquímica del agua

El agua residual se tomó de la industria láctea “San Luis” Ubicado en el cantón Cayambe Provincia de Pichincha en las calles Chile 409 y Acázubi (sector urbano).

Se realizó la caracterización inicial y final del agua residual, para su comparación y establecer la eficiencia del tratamiento. Las muestras (1 galón), fueron tomadas del tratamiento secundario de la planta de la empresa; debido a que se eliminaron de ella, las fracciones inorgánicas y particuladas, esta agua tiene las características ideales para este estudio. Las muestras se tomaron 24 horas antes de la experimentación, con el fin de que no se alteren las propiedades ideales de estas aguas. La caracterización se efectuó en los laboratorios de la Universidad de las Américas.



Figura 7. Empresa láctea San Luis (Cayambe).

Los parámetros analizados fueron el pH, la turbidez, la DQO, DBO₅ Y Solidos totales, estos son indicadores de las características que presenta la muestra de agua.

3.5.1 pH y Temperatura

La medición de este parámetro se lo realizo con el potenciómetro (HANNA) calibrado (Figura 8). Se introdujo el electrodo de vidrio a la muestra, se esperó hasta que los valores de pH se estabilicen y T, se midió con ayuda de la termocupla que el equipo posee (Revelo, Proaño, & Banchón, 2015).



Figura 8. Potenciómetro Hanna.

3.5.2 Turbidez

La medición de este parámetro se realizó con el espectrofotómetro UV-VIS (Macherey/Nagey MN), se lo puede apreciar en la figura 9, y consistió en colocar la muestra en un tubo de ensayo que se introdujo en el cubeto del equipo, programarlo previamente para medir la turbidez, los resultados fueron expresados en unidades NTU (Marcó, Azario, Metzler, & Garcia, 2004).

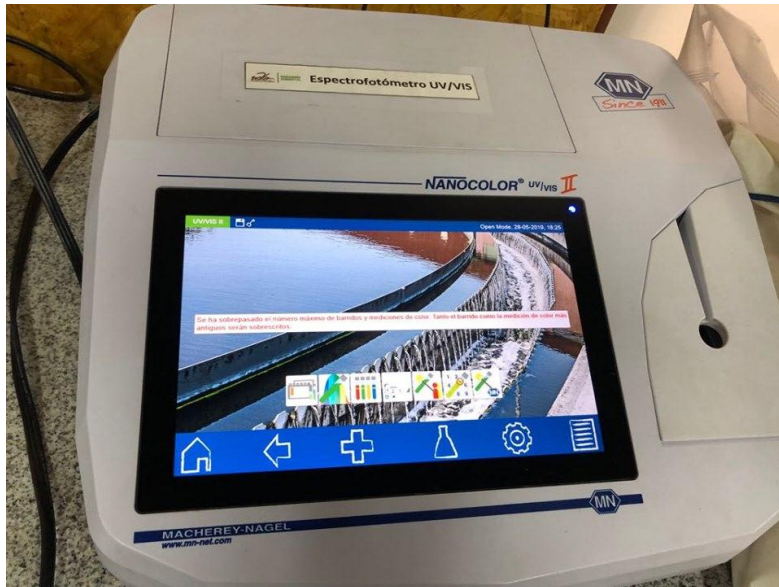


Figura 9. Espectrofotómetro UV-VIS (Macherey/Nagey MN).

3.5.3 DQO (Demanda química de Oxígeno)

La medición de la demanda química de oxígeno (DQO) se llevó a cabo en el espectrofotómetro UV-VIS (Figura 11) en conjunto de los kits de laboratorio, consistió en colocar una muestra de agua residual (2 ml) en un tubo de ensayo, la homogenización se realizó por agitación, La muestra se dispuso en el biodigestor a una temperatura de 160 °C durante 30 minutos (Figura 10). Después del enfriamiento, se volvió a homogenizar, a temperatura ambiente. Luego de la limpieza externa del tubo, se procedió con la medición de DQO, en el espectrofotómetro UV-VIS (Osorio & Peña, 2012).



Figura 10. Medición del DQO

Adaptado de (WTW,s.f)



Figura 11. Bloque digestor.

3.5.4 DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno)

La medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), es un proceso de respirometría, con los resultados de la DQO se hace referencia a la tabla que nos indica la cantidad de muestra que será utilizada en disponer la muestra para análisis, en un Oxitop, con agitación magnética (Figura 12). El oxitop se ubicó en la estufa a una temperatura de 22°C y se leyeron los resultados, después de 5 días (Osorio & Peña, 2012).



Figura 12. Frascos Oxitop (20 °C).

3.5.5 Sólidos Totales

Los sólidos totales se midieron por gravimetría. Las muestras empleadas fueron almacenadas en recipientes de plástico o de vidrio refrigeradas por 24 h a una temperatura de 4 °C. Primero los crisoles fueron esterilizados a una temperatura de 105°C durante 1 hora y luego colocados en el desecador para su enfriamiento y posterior pesado. Sobre el crisol se depositó la muestra (homogenizada) y se colocó en la estufa a 105 °C durante 12 horas, para su enfriamiento se transfirió al desecador (Figura 13), Los resultados se expresaron en mg de sólido/litro de muestra (Argadoña & Macías, 2013).

La caracterización fisicoquímica de este estudio estuvo referenciada bajo los límites máximos de descargas a cuerpos de agua dulce que están adjuntos al Acuerdo Ministerial 097-A de su última actualización en el año 2015, dicha

caracterización será evaluada tanto previa y posteriormente a la experimentación.

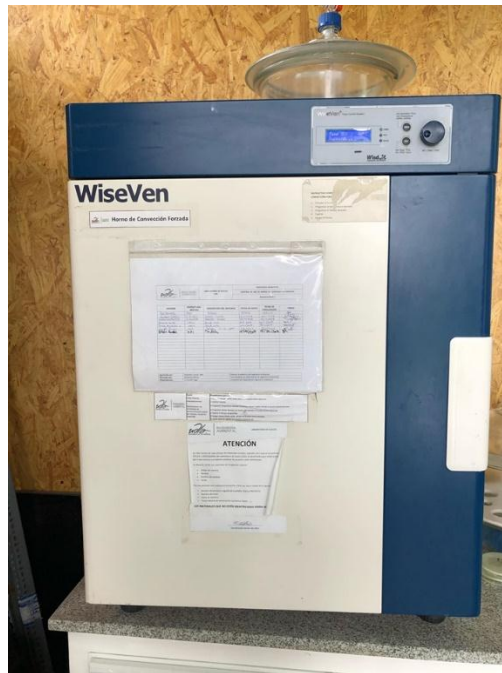


Figura 13. Estufa WiseVen



Figura 14. Solidos totales luego de 24h en la estufa.

Para la obtención de los valores finales de cuanta materia orgánica se consumió, se planteó la siguiente formula:

(Ecuación 1)

$$SST = \frac{X_2 - X_1}{0.02L}$$

Donde x_2 representa al valor de la muestra en el crisol luego de 12 h en la estufa, x_1 representa al peso del crisol sin muestra que finalmente divide para la cantidad de muestra que se puso en el crisol (20ml).

3.6 Coagulación-Floculación

El proceso de coagulación se encarga de la neutralización de los coloides (cargas eléctricas) de una solución, mientras que el proceso de floculación consiste en la adición de polímeros que facilita la generación de flóculos los mismo que se encargan de atraer las partículas en suspensión (Sorangel Rivas Romero; Gerardo Menés Vuelta; Aimet Rómulo Rodríguez, 2013).



Figura 14. Test de jarras VEPL

Para la coagulación-floculación, en la investigación, se experimentó con los biocoagulantes obtenidos de cada especie experimental elegida, para

determinar la eficiencia de remoción de los taninos presentes, empleando un coagulante inorgánico PAC (policloruro de aluminio) en calidad de blanco. Fue necesario realizar una agitación para que estos procesos se lleven a cabo, el intervalo tuvo diferentes tiempos con diferentes velocidades correspondientes a cada fase. La mezcla y el tiempo establecido para el proceso de coagulación floculación se resume en la tabla 3.

Tabla 3.

Proceso coagulación-floculación para el test de jarras con un volumen (300ml) de agua residual láctea “san Luis”

Fases	Intervalos(minutos)	Velocidad(rpm)
Adición del coagulante (Agitación rápida)	4	200
Agitación Lenta	5	50
Sedimentación de sólidos	24 horas	No aplica

3.7 Determinación de Dosis óptima para las dos especies vegetales

En la identificación de las dosificaciones necesarias de biocoagulantes, se emplearon 300 ml de muestra problema (agua residual) en vasos de precipitación, las dosis de biocoagulante fueron agregadas en rangos de 1ml a 10ml por especie. La homogenización se efectuó en el test de jarras (figura 14), estas pruebas se realizaron en intervalos de 4 minutos a una velocidad de 200 rpm (agitación rápida), y de 5 minutos a una velocidad de 50 rpm (agitación lenta), se dejó reposar, n forma natural y sus valores fueron testeados a las 24 horas.

Para cada una de las corridas experimentales, se realizaron 3 repeticiones por especie (tabla 4):

Tabla 4.

Corridos experimentales para dosis optima por especie

Dosis (rango)	Bicoagualante	Repeticiones	Total
1ml-5ml	Guarango	3	30 pruebas
1ml-5ml	Chocho	3	30 pruebas

Teniendo como resultado 15 pruebas por especie, con el fin de disminuir el margen de error y obtener la dosis optima, se midió la turbidez inicial de la muestra problema y se comparó con cada una de las demás luego de agregar el biocoagulante. Finalmente, el porcentaje de remoción de turbidez se obtuvo a partir de la siguiente formula:

(Ecuación 2)

$$\%Remoción = \frac{Turbidez Inicial - Turbidez final}{Turbidez Inicial} * 100$$

Las pruebas con mejor porcentaje de remoción de turbidez de cada una de las repeticiones por especie fueron promediadas, determinando así la dosis optima (ml) de biocuagulante por especie vegetal.

3.8 Diseño Experimental

El diseño experimental (tabla 5), para esta metodología fue un diseño Completamente al azar (DCA), utilizado para establecer una comparación entre dos o más tratamientos, los factores son de tipo cuantitativos con 3 repeticiones respectivamente para cada uno de los tratamientos, generándose así 18 tratamientos posibles para cada una de las especies (Pulido & Salazar, 2008). Las variables para este diseño fueron: dependientes que son los resultados o respuestas que se espera obtener (la biocoagulación del agua residual), las independientes fueron los factores con los que se obtendrán estas

respuestas (dosis de biocoagulante y pH) y las variables constantes fueron la mezcla (rpm), el tiempo de tratamiento, la temperatura del medio y el volumen que serán los mismo para todos los tratamientos.

Tabla 5.

Diseño experimental para cada una de las especies vegetales.

FACTOR	NIVELES	TRATAMIENTOS(X3)
• Especies	• A	T1=(AX)
	• B	T2=(AY)
• pH	• X	T3=(AZ)
	• Y	T4=(BX)
	• Z	T5=(BY)
		T6=(BZ)

Tabla 6.

Atributos del diseño experimental.

FACTOR	NIVELES
Especies	<ul style="list-style-type: none"> • A=Guarango • B=Chocho
pH	<ul style="list-style-type: none"> • X=De la muestra • Y=Acido (4) • Z=Neutro (7)

3.9 Pruebas con coagulante Inorgánico PAC (policloruro de aluminio)

La dosis de policloruro de aluminio (tabla 7.), fueron determinadas a partir del valor de la turbidez (NTU) del agua residual tomada del proceso primario de la planta (Barajas & León, 2015).

Tabla 7.

Diseño factorial para el tratamiento blanco.

COAGULANTE INORGÁNICO	
POLICLORURO DE ALUMINIO PAC	
BLANCO	DOSIS
(pH de la muestra)	
Blanco T1	5ml

3.10 Caracterización final

La caracterización final consistió en tomar los valores obtenidos de pH, turbidez, DQO, DBO₅ y sólidos totales de los tratamientos más efectivos y compararlos con los valores tomados inicialmente de la muestra. Al hacer esta relación se determinaron mejoras y falencias de la aplicación de biocoagulantes.

1. Capítulo IV. Análisis de resultados y discusión

4.1 Caracterización inicial de la muestra de agua residual

Los parámetros iniciales de la muestra residual de la industria láctea se muestran en la Tabla 8

Tabla 8.

Caracterización inicial de la muestra.

Caracterización inicial de la muestra residual		
Parámetros	Unidad	Valores
Turbidez	NTU	201.6

pH	U pH	3.4
DQO	mg/L O ₂	2302
DBO	mg/L	720
STT	mg/L	662

4.2 Obtención de biocoagulante (Taninos)

La extracción del tanino vegetal, con la metodología descrita; permitió obtener 400 ml de biocoagulante por especie (tabla 9).

Tabla 9.

Solución de biocoagulante por especie vegetal.

BIOCOAGULANTE		
Especie	Almidón	Alcohol(metanol)
Guarango	40 mg	50 ml
Chocho	40 mg	50 ml

4.3 Dosis óptima de biocoagulantes

La determinación de la dosis óptima ejecuta en conformidad con la metodología definida; generó los resultados que se muestran en las tablas 10 y 11. Así, la dosis de 1ml, es óptima para cada una de las especies; sin embargo, es importante mencionar que las dosificaciones de 3 ml, 4 ml y 5 ml disminuyeron considerablemente la turbidez, pero afectaron la concentración de DQO elevando su valor inicial; es por esto que se definió una dosis óptima acorde con los dos parámetros (1ml), que de todas formas presentó valores de reducción de la turbidez representativos.

Tabla 10.

Resultados de turbidez para la dosis óptima.

VALORES DE DOSIS OPTIMA						
Dosis de biocoagulante	Guarango			Chocho		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
	Turbidez (NTU)			Turbidez (NTU)		
1ml	8.6	14.1	18.4	10.5	30.4	30.4
2ml	8.2	19.2	19.6	25.6	14.5	26.4
3ml	6.6	23.9	21.7	16.5	16.2	17.4
4ml	2.6	17.1	5.1	13.3	7.5	11.5
5ml	2.1	2.7	1.2	13.2	4.9	6

Tabla 11.

Porcentaje de remoción de turbidez para cada una de las dosis aplicadas por especie.

VALORES DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN						
Dosis de biocoagulante	Guarango			Chocho		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
	% Remoción			% Remoción		
1ml	95.73	93.01	90.87	94.79	84.92	84.92
2ml	95.93	90.48	90.28	87.30	92.81	86.90
3ml	96.73	88.14	89.24	91.82	91.96	91.37
4ml	98.71	91.52	97.47	93.40	96.28	94.30
5ml	98.96	98.66	99.40	93.45	97.57	97.02

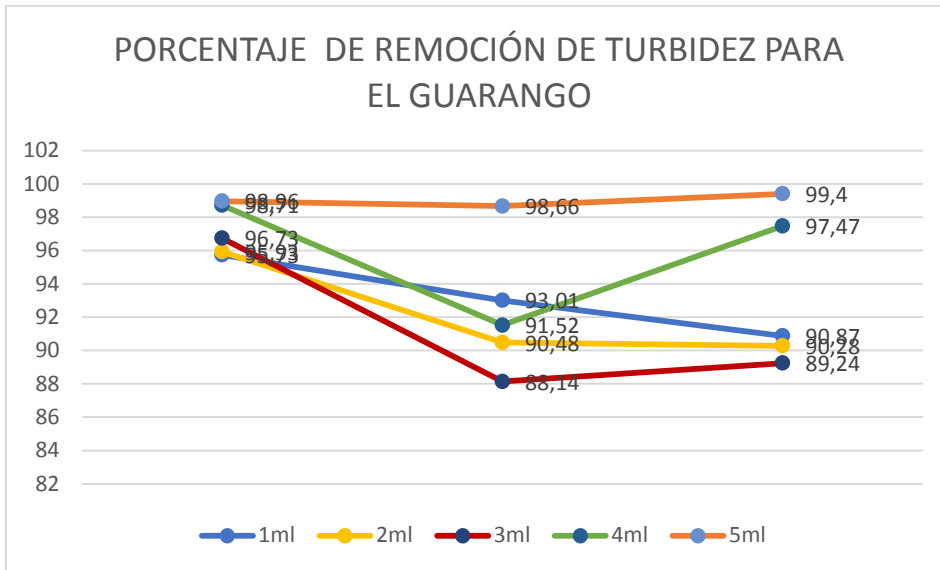


Figura 15. Porcentaje de remoción de turbidez del guarango para la dosis óptima.

La figura 15 nos indica las dosis con cada una de sus repeticiones (3), se puede apreciar que la dosis de 1ml de biocoagulante a base de guarango representa el 93,20% de remoción de turbidez. Esto se explica, por el poder coagulante de la especie vegetal y al aprovechamiento máximo del tanino.

En la extracción, el diámetro de partícula, tiempo de maceración, la adición de un alcohol, la filtración, juegan un papel determinante en la concentración del tanino en el biocoagulante. Así la acción del biocoagulante, es eficiente a bajas dosis y es capaz de atrapar las partículas cargadas negativamente dándoles una densidad menor a la del medio (agua residual) logrando su decaimiento (Quinto, 2012).

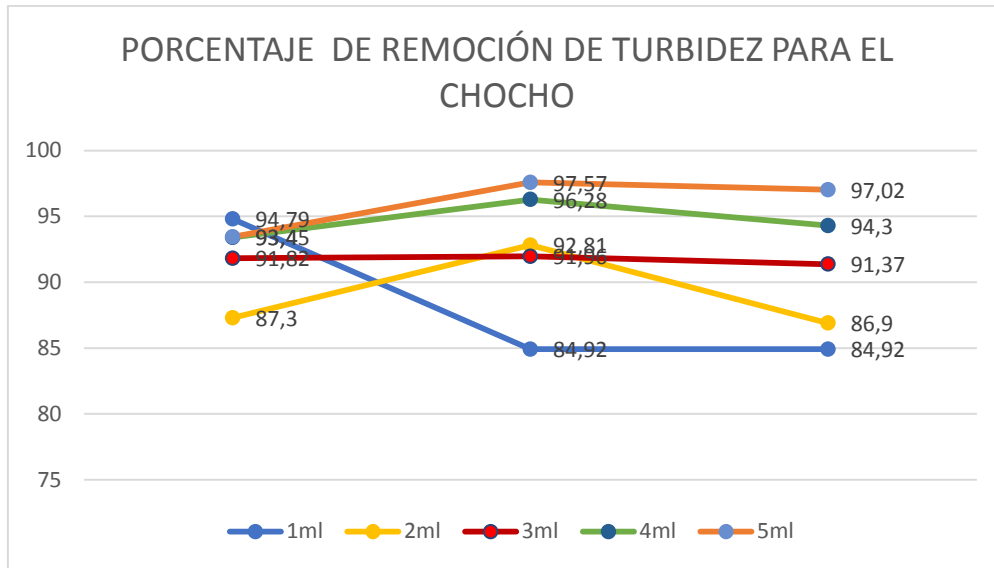


Figura 16. Porcentaje de remoción de turbidez del chocho para la dosis optima

La figura 16, nos indica las dosis con cada una de sus repeticiones (3). Se puede apreciar que la dosis de 1ml de biocoagulante a base de chocho representa el 88.21% de remoción de turbidez; sin embargo, como anteriormente se mencionaba, las dosis de 3 ml, 4 ml y 5 ml se destacan con un mayor porcentaje de remoción de turbidez, pero no tienen una influencia en el DQO dándole valores elevados (tabla 12 y 13).

Tabla 12.

Resultados de DQO para la dosis óptima.

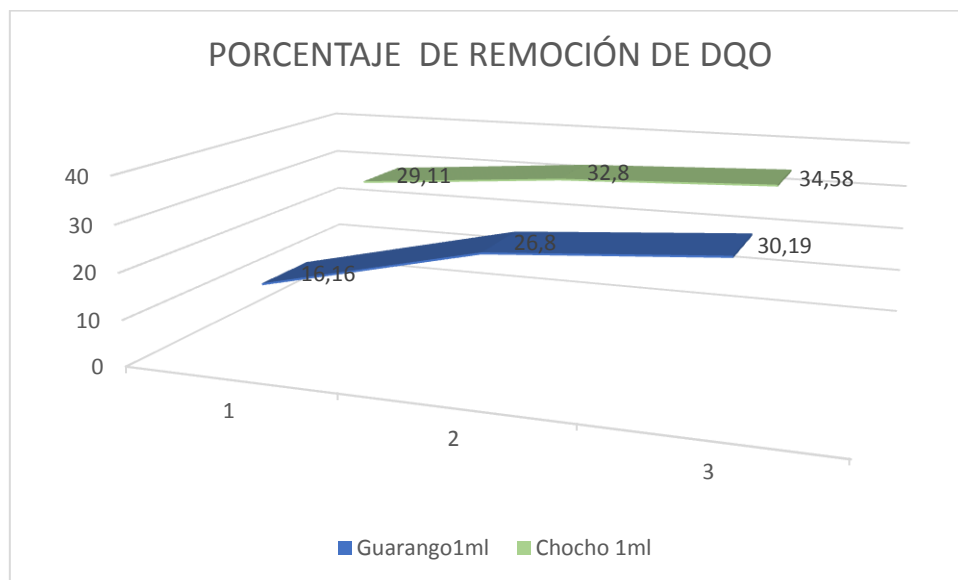
VALORES DE DOSIS OPTIMA						
Dosis de biocoagulante	Guarango			Chocho		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
	DQO (mg/L)			DQO (mg/L)		
1ml	1930	1685	1607	1632	1547	1506

Tabla 13.

Porcentaje de remoción de DQO para cada una de las dosis aplicadas por especie para la dosis óptima.

VALORES DE % DE REMOCIÓN DE DQO						
Dosis de biocoagulante	Guarango			Chocho		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
	% Remoción			% Remoción		
1ml	16.16	26.80	30.19	29.11	32.80	34.58

Figura 17. Porcentaje de remoción de DQO para cada una de las especies en la evaluación de la dosis óptima.



En la figura 17 podemos observar el porcentaje de DQO correspondiente a cada uno de las repeticiones aplicadas con la dosis de 1 ml, el porcentaje promedio de remoción para el chocho fue de 32%; mientras que, para el guarango se obtuvo un 24.38%.

El porcentaje de remoción de turbidez, con la dosis de 1ml; son representativos., Pese a que el biocoagulante, fue preparado con metanol al 99% que activa al tanino, pero aporta carga orgánica; se obtuvieron porcentajes de remoción de alrededor del 50 %. Este valor, es similar al valor obtenido en un estudio similar; que trata sobre la biocoagulación de aguas residuales de industria textilera con Guarango, que logró remover el 52% de la DQO (Banchón, 2015).

4.4 Diseño experimental con las especies vegetales

Los resultados de las pruebas efectuadas en conformidad con el diseño experimental, con las dos especies, se muestran en la tabla 14,15,16 y 17 para el Cuarango y en las tablas 18,19,20 y 21, para el chocho. Para los 9 tratamientos por especie, con 3 repeticiones respectivas, para el total de 18 tratamientos.

4.4.1 Resultados del diseño experimental para la especie guarango

Tabla 14.

Resultados de Turbidez del guarango para los diferentes pH.

Guarango						
Turbidez						
Dosis optima (ml)	pH Inicial	3.4	% De remoción	pH 4	% De remoción	pH7
			pH 3.4		pH4	% De remoción
						pH 7
1	12.4		93.85	29.6	85.32	119.4
1	10.4		94.84	32.2	84.03	120.7
1	18.5		90.82	36.7	81.80	123.5
						38.74

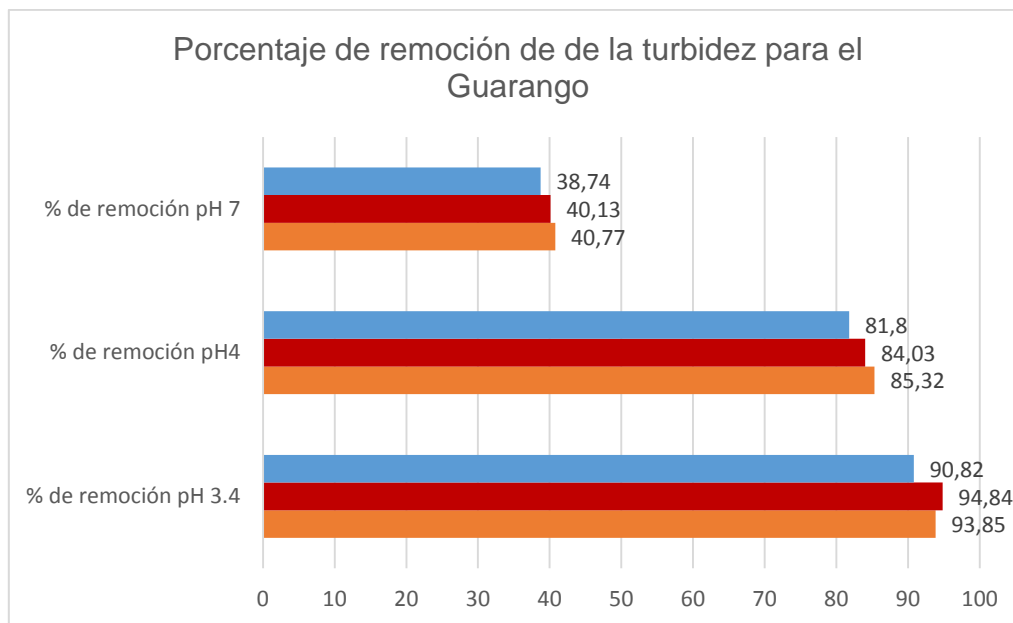


Figura 18. porcentaje de remoción de turbidez con biocoagulante de guarango para cada pH.

En la figura 18, se aprecia los valores obtenidos del porcentaje de remoción de turbidez con el biocoagulante de la especie guarango para cada uno de los pH establecidos, Se destacan los porcentajes 94.84% para el pH de la muestra 3,4, 85.32% para el pH 4 y 40.77% para el pH 7, aplicando la dosis óptima de 1ml, respectivamente.

Se determinó que el biocoagulante de la especie guarango, tiene una capacidad de remoción elevada en pH ácidos, mientras que en pH neutro su capacidad de remoción disminuye para este parámetro.

Esto se explica porque existen diferentes tipos de coagulación, sobre los que influyen factores como el tipo de agua, temperatura, conductividad, sistema de aplicación del coagulante y la dosis del coagulante (Lorenzo, 2006).

Tabla 15.

Resultados de DQO del guarango para los diferentes pH.

Guarango						
DQO						
Dosis optima (ml)	pH Inicial 3.4	% de remoción pH 3.4	pH 4	% de remoción pH 4	pH7	% de remoción pH 7
1	1990	13.55	2098	8.86	2267	1.52
1	1919	16.64	2134	7.30	2005	12.90
1	1817	21.07	2143	6.91	2245	2.48

En la figura 19, se aprecia los valores obtenidos del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) con el biocoagulante de la especie guarango, para cada uno de los pH establecidos, así para la muestra del pH 3,4, 8.86% para el pH 4 y 12.9%, para el pH 7, aplicando la dosis optima 1ml respectivamente.

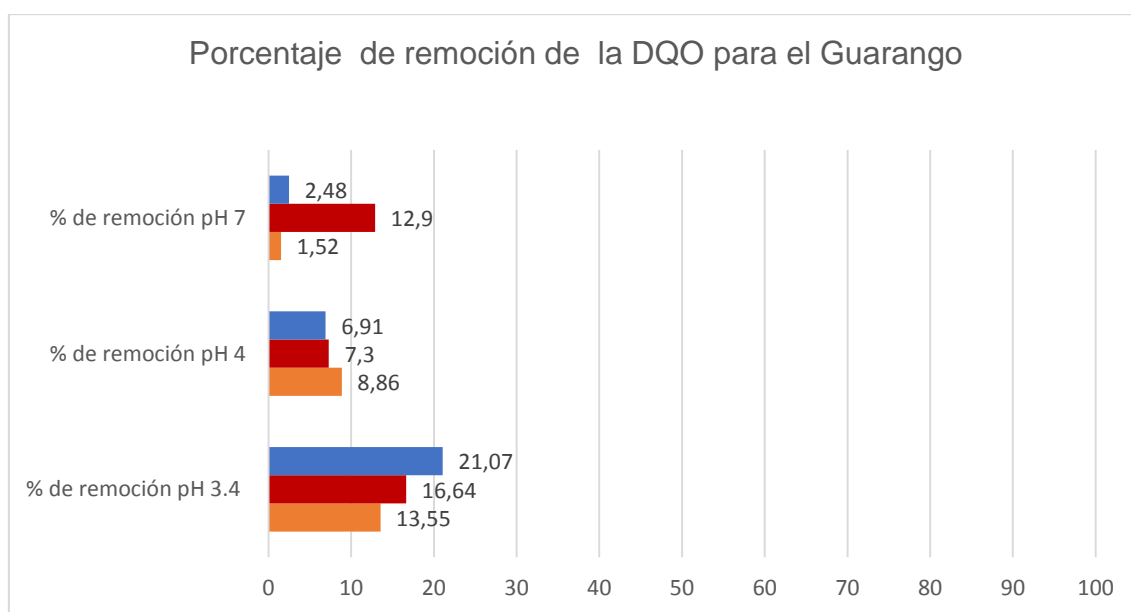


Figura 19. Porcentaje de remoción de DQO con biocoagulante de guarango para cada pH.

Se evidencia que a medida que el pH se va neutralizando, la remoción del DQO disminuye.

Tabla 16.

Resultados de DBO₅ del guarango para los diferentes pH.

Guarango							
DBO ₅							
Dosis optima (ml)	pH 3.4	Inicial	% de remoción pH 3.4	pH 4	% de remoción pH 4	pH 7	% de remoción pH 7
1	540		72.86	740	64.73	740	67.36
1	580		69.78	500	76.57	560	72.07
1	500		72.48	680	68.27	660	70.60

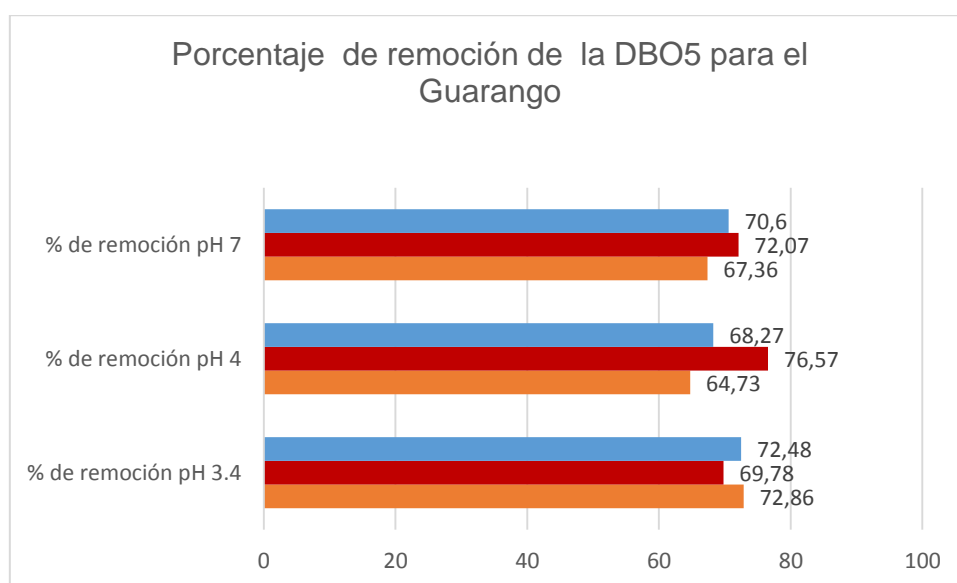


Figura 20. porcentaje de remoción con biocoagulante de guarango para cada pH.

En la figura 20, se aprecia los valores obtenidos del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con el biocoagulante de la especie guarango, para cada uno de los pH establecidos. Para, la muestra de pH 3,4,

se logró un 72.86%, 76.57% para el pH 4 y 70.6% para el pH 7, con una dosis óptima 1ml.

El biocoagulante de la especie guarango, tiene una capacidad de remoción elevada en este parámetro, en todos los pH, cuyos valores están dentro de los límites de concentración permitidos.

Tabla 17.

Resultados de STT del guarango para los diferentes pH.

Guarango						
STT						
Dosis óptima (ml)	pH Inicial 3.4	% de remoción pH 3.4	pH 4	% de remoción pH 4	pH7	% de remoción pH 7
1	543.5	17.8	558	15.7	608.5	8.1
1	547	17.4	560	15.4	626.5	5.4
1	533.5	19.4	458	30.8	613.5	7.3

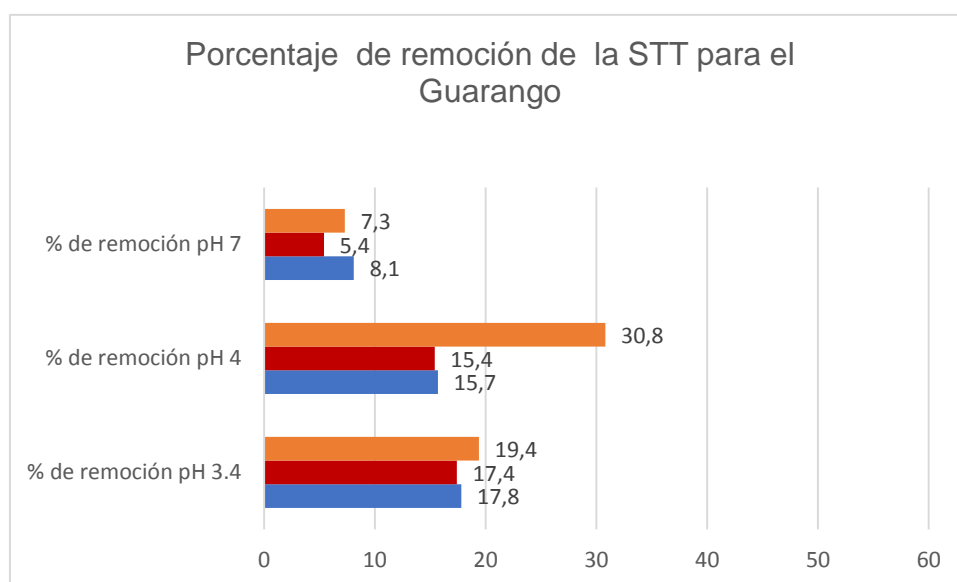


Figura 21. porcentaje de remoción de STT con biocoagulante de guarango para cada pH.

En la figura 21, se muestran los valores del porcentaje de remoción de sólidos totales (STT) con el biocoagulante de la especie guarango para cada uno de los pH establecidos. Así para la muestra pH 3,4, el porcentaje es 19.4% ; 30.8% para el pH 4 y 8.1% para el pH 7, con una dosis optima 1ml respectivamente.

El biocoagulante de guarango tiene una capacidad de remoción parcial en este parámetro, siendo mayor a pH ácidos.

Los resultados obtenidos, son similares a los obtenidos por Llano (2014), que confirma la influencia del pH sobre la remoción, siendo mejores a pH ácidos. Llano, trabajó con pH 5 - 6 de la muestra inicial, y los resultados de los parámetros evaluados fueron interesantes, obtuvo remociones del 90% en turbidez; mientras que, para STT una de 99%. Es importante mencionar que en este estudio se trabajó con coagulantes inorgánicos, pero al hacer una comparación sobre la remoción, se alcanzaron remociones sobre los 90% en los dos respectivamente, donde nuevamente se puede evidenciar el elevado poder coagulante de las especies de este estudio.

4.4.2 Resultados del diseño experimental para la especie Chocho

Tabla 18.

Resultados de Turbidez del chocho para los diferentes pH

Chocho						
Turbidez						
Dosis optima (ml)	pH Inicial 3.4	% De remoción pH 3.4	pH 4	% De remoción pH4	pH7	% De remoción pH 7
1	31.1	84.57	24.6	88.10	199.4	1.09
1	34.6	82.84	25.8	87.20	201.8	-0.10
1	29.8	85.22	27	86.61	187.3	7.09

La figura 22, muestra los resultados del porcentaje de remoción de turbidez con el biocoagulante de chocho, para cada uno de los pH establecidos. Para el pH 3,4 el 85.22%, 88.1% para el pH 4 y 7.09% para el pH 7, con dosis optima 1ml.

El biocoagulante del chocho, tiene una capacidad de remoción de turbidez elevada en pH ácidos, mientras que en pH neutro su capacidad de remoción disminuye.

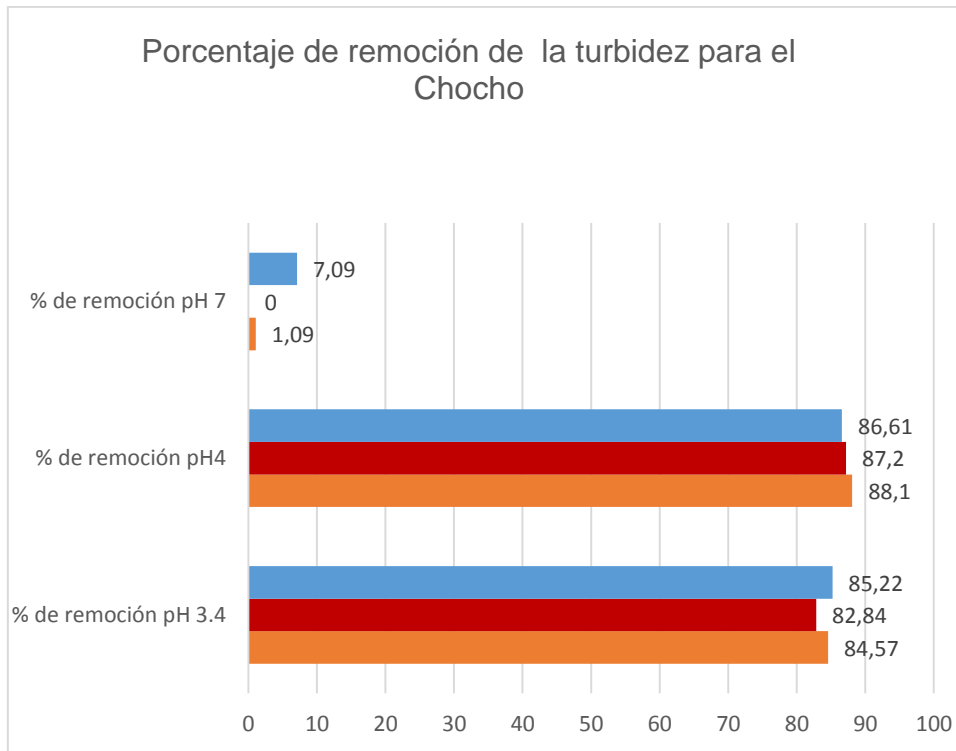


Figura 22. porcentaje de remoción de turbidez con biocoagulante de Chocho para cada pH.

Tabla 19.

Resultados de DQO del chocho para los diferentes pH.

Chocho						
DQO						
Dosis optima (ml)	pH Inicial 3.4	% de remoción pH 3.4	pH 4	% de remoción pH 4	pH7	% de remoción pH 7
1	1641	28.71	1638	28.84	2299	0.13

1	1495	35.06	1504	34.67	2584	-12.25
1	1741	24.37	1651	28.28	2608	-13.29

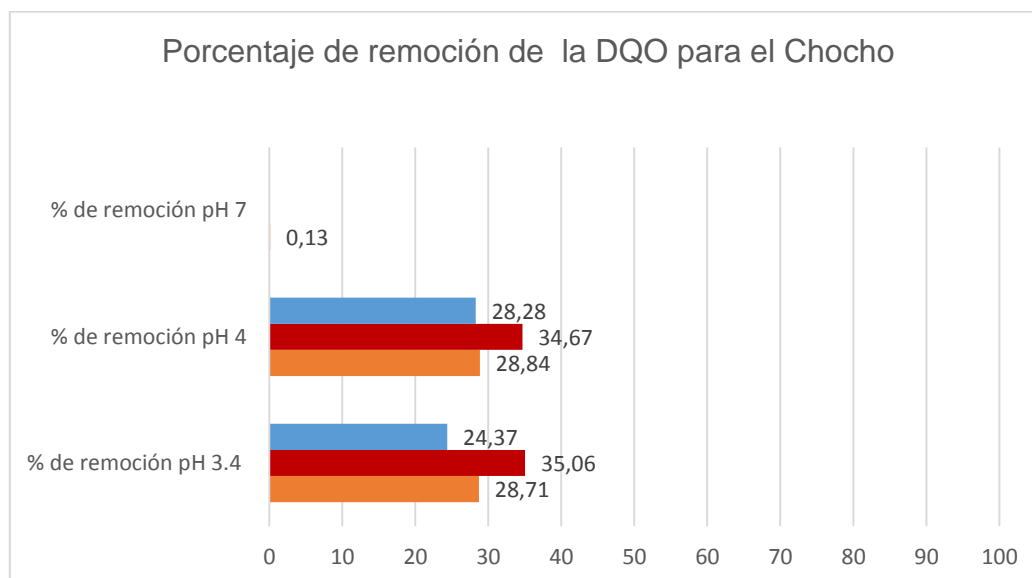


Figura 23. porcentaje de remoción de DQO con biocoagulante de chocho para cada pH.

En la figura 23, se detallan los resultados del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) con el biocoagulante de la especie chocho, para cada uno de los pH establecidos. Para el pH 3,4 se obtiene un 35.06%, para el pH 4 34.67% y 0.13% para el pH 7, con una dosis óptima de 1 ml.

La capacidad de remoción del DQO, del coagulante del chocho es considerable, observándose la tendencia de su disminución a medida que el pH se hace neutro.

Tabla 20.

Resultados de DBO₅ del chocho para los diferentes pH.

Chocho						
DBO₅						
Dosis optima (ml)	pH Inicial 3.4	% de remoción	pH 4	% de remoción	pH7	% de remoción

		pH 3.4		pH 4		pH 7
1	760	66.99	720	68.72	780	66.12
1	620	73.07	540	76.54	700	69.59
1	780	66.12	760	66.99	820	64.38

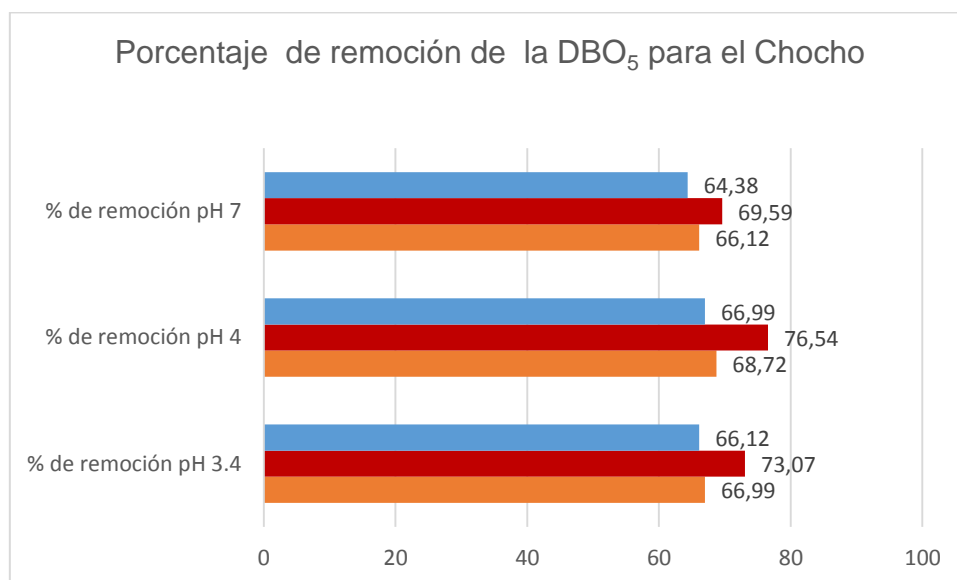


Figura 24. porcentaje de remoción de DBO₅ con biocoagulante de chocho para cada pH.

El porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con el biocoagulante del chocho se muestra en la figura 24. Par el pH 3,4 un porcentaje de 72.86%; 76.57% para el pH 4 y 70.6% para el pH 7, aplicando la dosis optima de 1ml respectivamente.

El biocoagulante del chocho tiene una capacidad de remoción del DBO₅ elevada en todos los pH. Sus valores de remoción están dentro de los parámetros permitidos.

Tabla 21.

Resultados de STT del chocho para los diferentes pH.

Chocho
STT

Dosis optima (ml)	pH Inicial 3.4	% de remoción pH 3.4	pH 4	% de remoción pH 4	pH7	% de remoción pH 7
1	516.5	21.98	535	19.18	630.5	4.76
1	529	20.9	537.5	18.81	640.5	3.25
1	595	10.1	555	16.16	674.5	-1.89

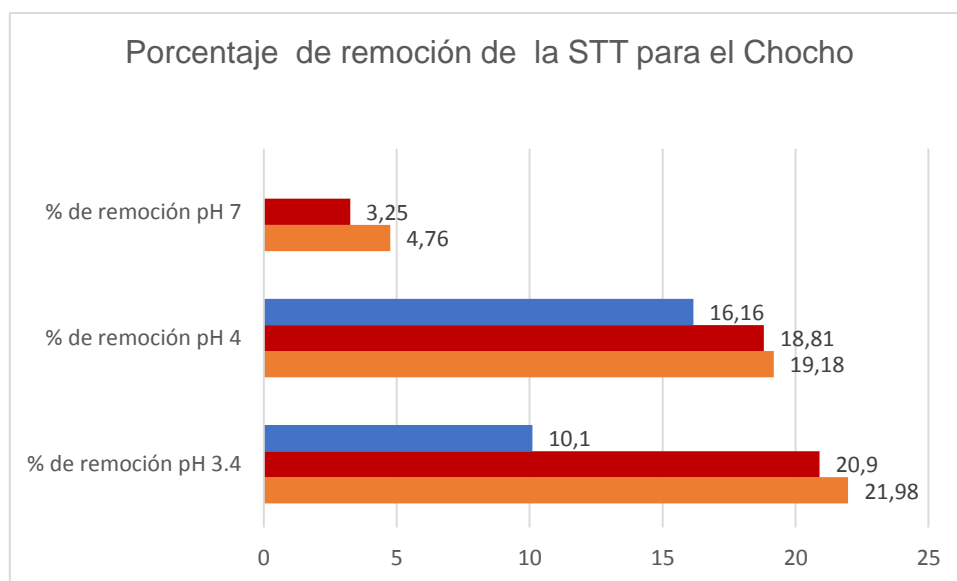


Figura 25. porcentaje de remoción de STT con biocoagulante de chocho para cada pH.

El porcentaje de remoción de solidos totales (STT) con el biocoagulante del chocho se muestra en la figura 25, se destacan los porcentajes 21.98% para el pH de la muestra, 19.18% para el pH 4 y 4.76% para el pH 7, aplicando la dosis optima 1ml respectivamente.

El biocoagulante de la especie chocho tiene una capacidad de remoción parcial en este parámetro, tomando en cuenta todos los pH existe una inclinación de mayor % de remoción para los pH ácidos, en una de las repeticiones podemos observar valores poco significativos, y se concluye que en ciertos casos puede ser un factor de aporte de materia orgánica.

4.4.3 Resultados de la comparación del porcentaje de remoción del poder coagulante de los taninos vegetales

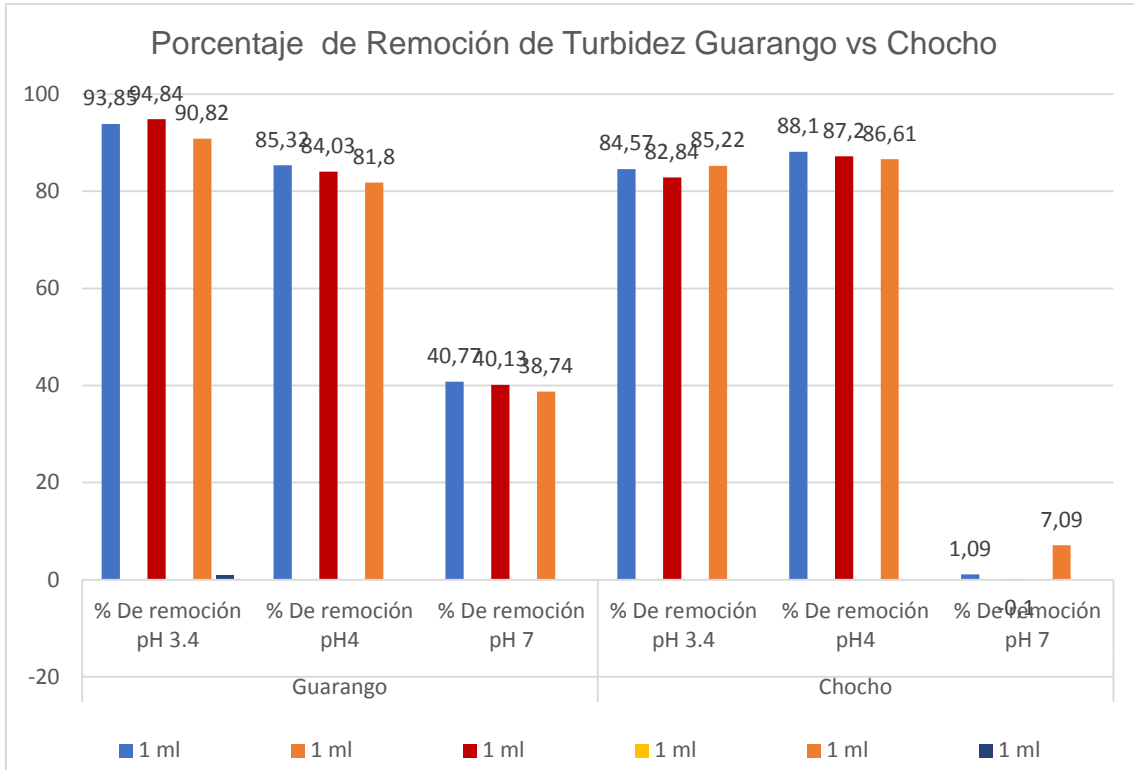


Figura 26. porcentaje de remoción Turbidez Guarango vs Chocho.

El porcentaje de remoción de turbidez de los dos biocoagulantes para cada uno de los pH establecidos se muestra en la figura 26, al medir los valores se destacan como el grafico indica que la remoción de turbidez en pH ácidos es muy eficiente para las dos especies.

Los porcentajes de remoción de turbidez, del biocoagulante de guarango son mejores, sin embargo, la diferencia no es significativa, por lo tanto, se concluye que los dos biocoagulantes tienen una capacidad de remoción elevada en pH ácidos, mientras que en pH neutro su capacidad de remoción disminuye.

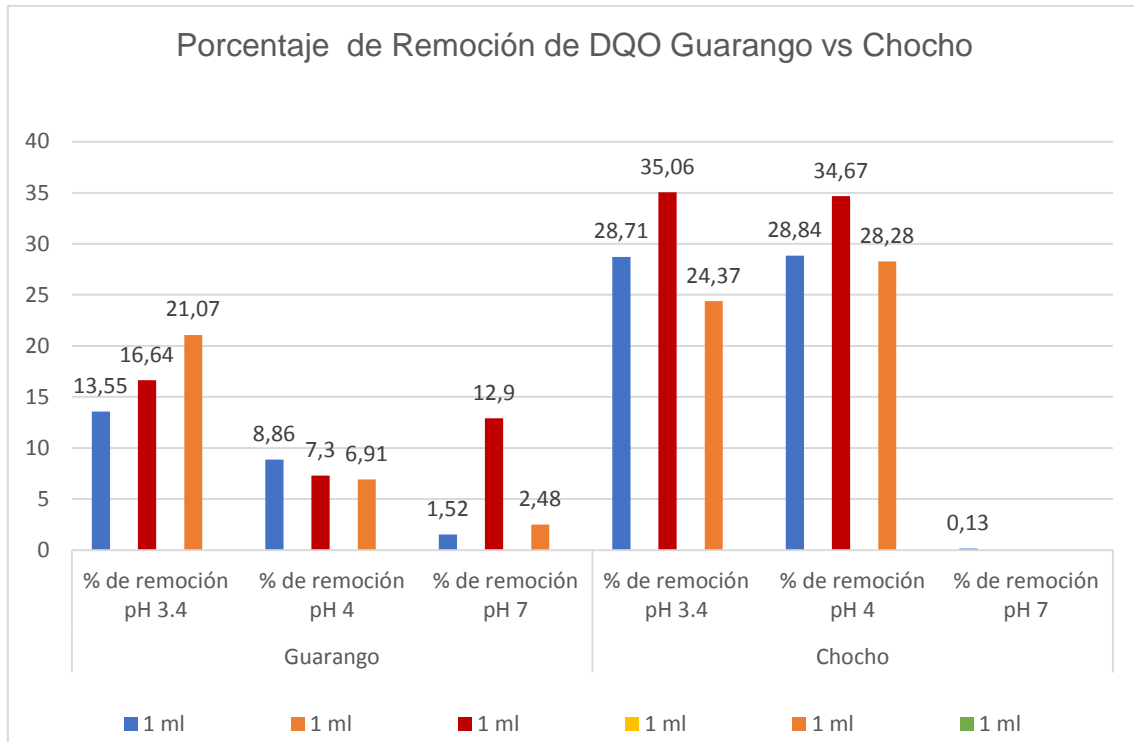


Figura 27. porcentaje de remoción DQO Guarango vs Chocho.

El porcentaje de remoción de DQO de los dos biocoagulantes para cada uno de los pH establecidos se aprecia en la figura 27, al medir los valores la remoción de este parámetro no ocurre con cifras elevadas. En pH ácidos ocurre una mayor remoción que en el neutro para las dos especies.

El biocoagulante de chocho muestra porcentajes de remoción de DQO, mejores que del guarango a pH ácidos, mientras que, en pH neutro, su capacidad de remoción es totalmente nula.

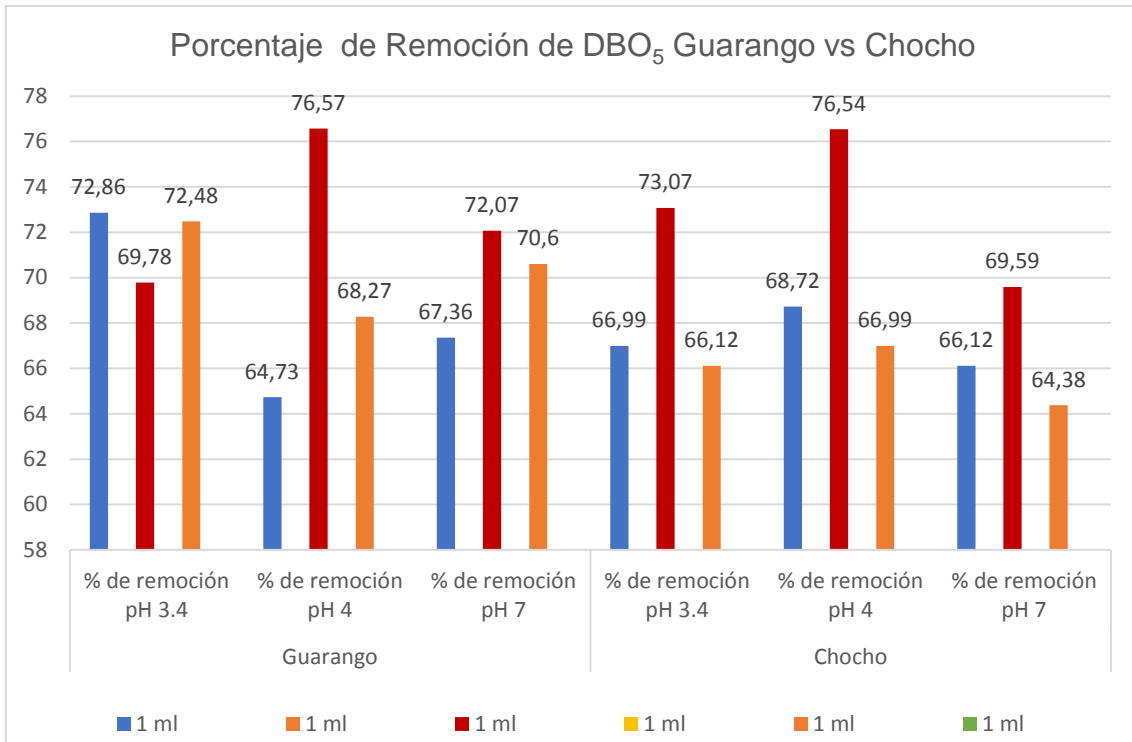


Figura 28. porcentaje de remoción DBO₅ Guarango vs Chocho.

En la figura 28, se muestran los resultados del porcentaje de remoción de DBO₅ de los dos biocoagulantes para cada uno de los pH establecidos. Los resultados muestran que la remoción de este parámetro es eficiente para todos los pH en las dos especies.

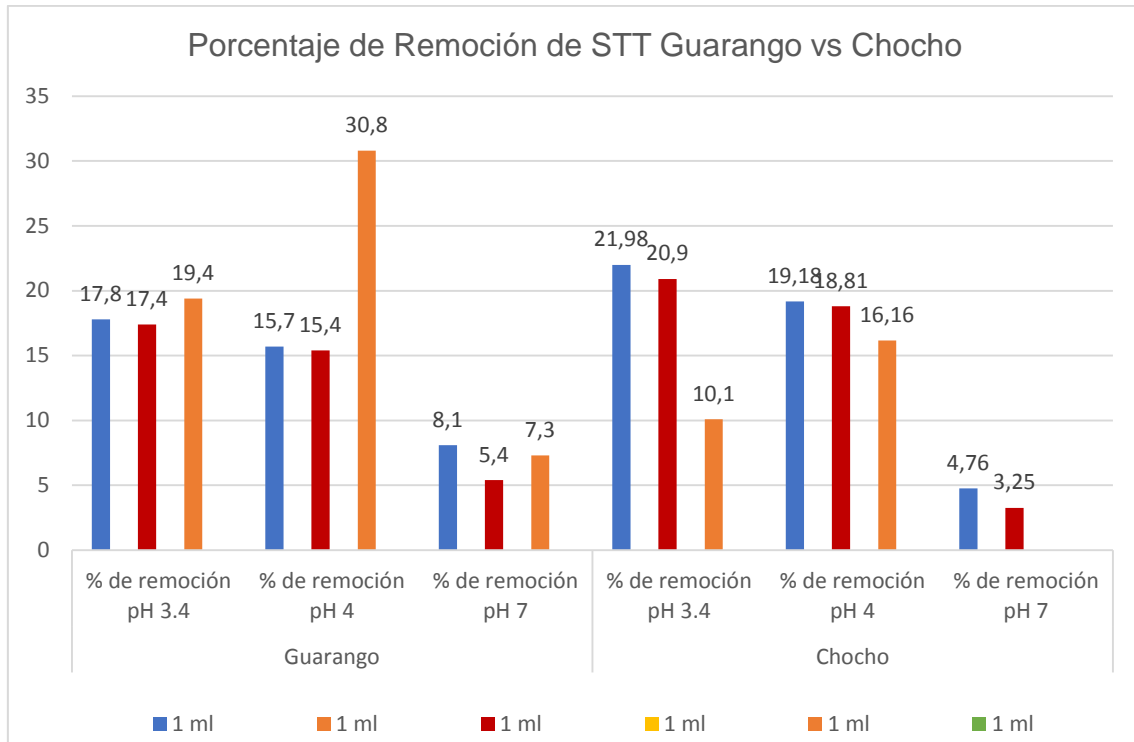


Figura 29. porcentaje de remoción STT Guarango vs Chocho.

En la figura 29, muestra que en pH ácidos ocurre una mayor remoción de STT, que, en el neutro, en ambas especies, de todas formas, existe una remoción considerable.

Se concluye que la remoción de STT, para las dos especies es eficiente en pH ácidos, con las dosis planteadas.

4.4.4 Resultados de la comparación del porcentaje de remoción del poder coagulante de los taninos vegetales vs el Blanco

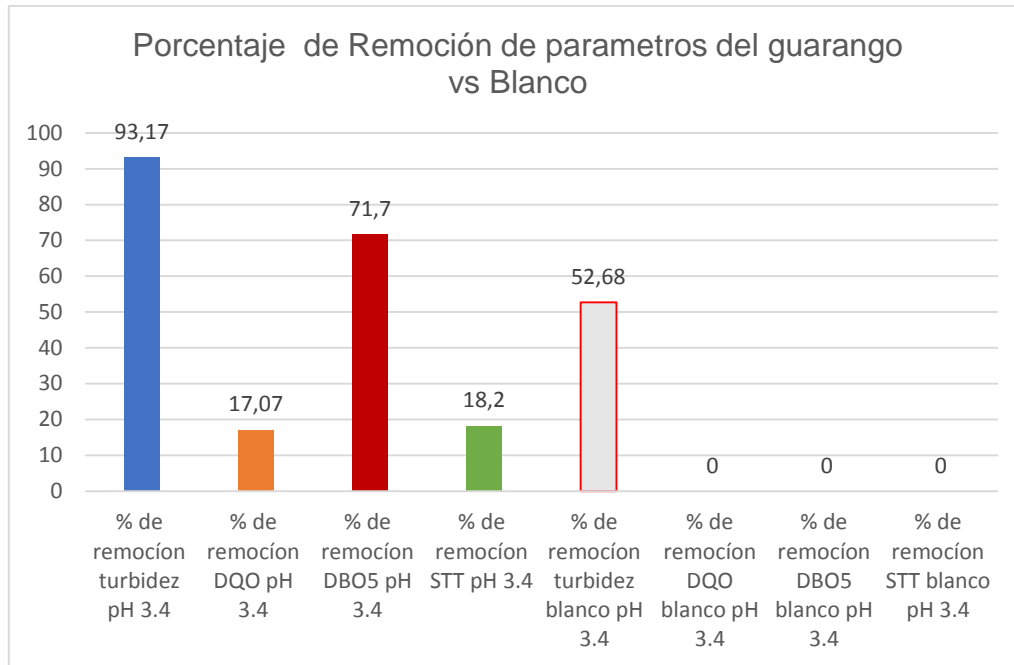


Figura 30. porcentaje de remoción de parámetros del Guarango vs Blanco.

En la figura 30 se aprecian los de remoción comparativos entre el biocoagulante guarango vs. el blanco (PAC). La remoción del parámetro turbidez es más eficiente para el biocoagulante guarango, con un valor de 93.17% de remoción, frente a 52.68 % del blanco. Para los demás parámetros como son la DQO, DBO₅ y STT no existe una comparación, ya que los valores para el blanco fueron despreciables en relación con los iniciales, esto puede deberse a que la dosificación fue distinta tanto para el biocoagulante con 1ml, como para el PAC con 5 ml.

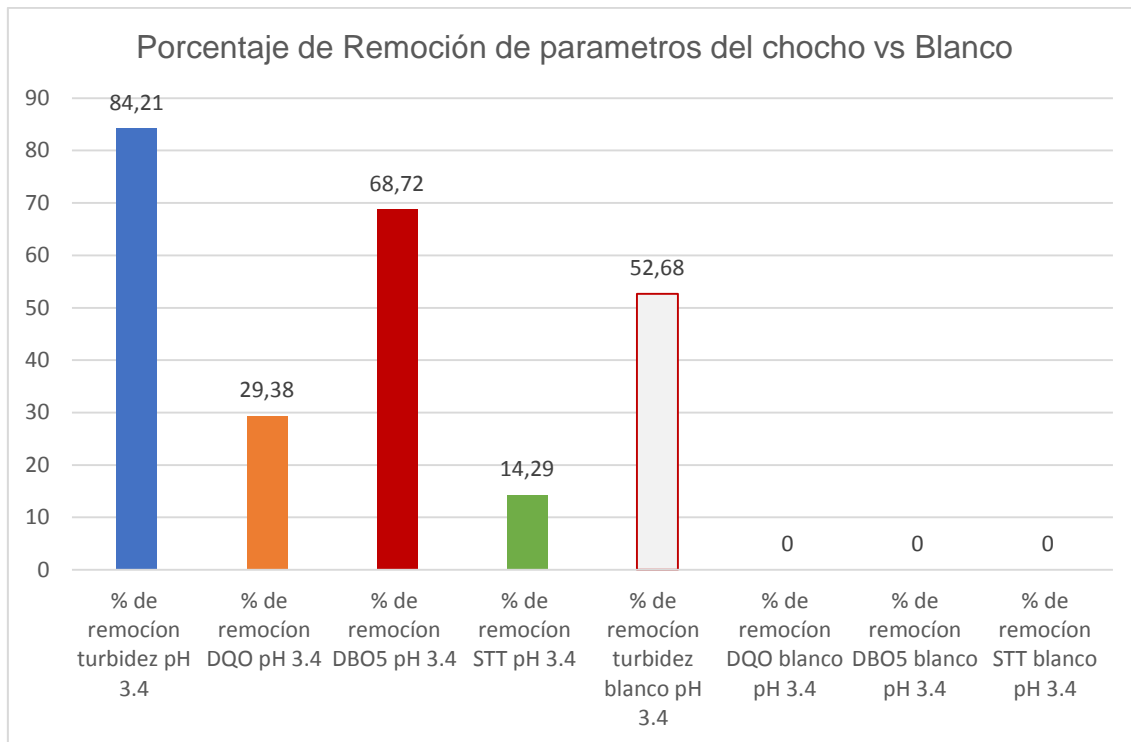


Figura 31. porcentaje de remoción de parámetros del Chocho vs Blanco.

En la figura 30 se aprecian los de remoción comparativos entre el biocoagulante Chocho vs. el blanco (PAC). La remoción del parámetro turbidez es más eficiente para el biocoagulante chocho con un valor de 84.21% en relación con la del blanco con un valor de 52.68 %. Para los demás parámetros como son la DQO, DBO₅ y STT no existe una comparación ya que los valores para el blanco fueron despreciables en relación con los iniciales, hay que tomar en cuenta que la dosificación es distinta tanto para el chocho (1ml) como para el blanco (5ml).

Estos resultados son analizados en comparación con otros estudios realizados en condiciones similares, uno de ellos indica la disminución de la turbidez del tratamiento blanco con un valor de 33 % de remoción. Esto puede ocurrir, por el uso de un floculante como auxiliar, para sedimentar las partículas; mientras que; en el proceso de coagulación-floculación, se requiere de la adición de un tipo de coagulante para desestabilizar los coloides y agregarlos, ese efecto no se logra con la adición única de un floculante (Proaño, 2015).

4.4.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico prueba T y Wilcoxon, los mismo que son utilizados cuando se utilizan dos tratamientos, ya sean para datos normales y datos no normales (Grupo Infostat, 2008). Se realizaron en el software Infostat, con el fin de determinar cuál es la hipótesis efectiva planteada, donde las siguientes siglas tienen el siguiente significado: H_1 (hipótesis uno) y H_2 (hipótesis dos). En la que:

H_0 : Los dos biocoagulantes tienen similitudes en su eficiencia.

H_1 : El biocoagulante de la especie vegetal chocho es más eficiente.

H_2 : El biocoagulante de la especie vegetal guarango es más eficiente.

Criterios para evaluar las hipótesis plantadas

Donde $P \text{ value} > \alpha = 0.05$ Estadísticamente los tratamientos no son diferentes y se acepta la **H_0**

Donde $P \text{ value} < \alpha = 0.05$ Estadísticamente los tratamientos son diferentes y se acepta una de las dos hipótesis (**H_1 o H_2**), dependiendo del caso.

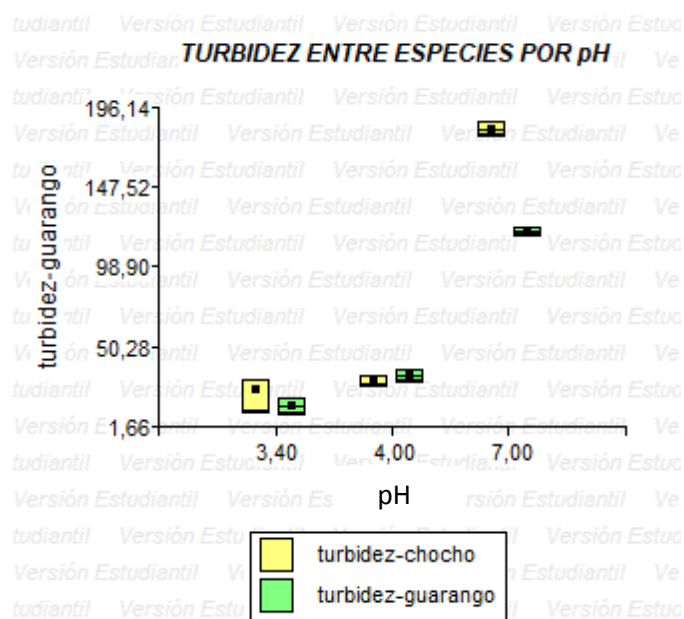


Figura 32. Representación gráfica de la disminución para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Tabla 22.

Resultados estadísticos de la representación gráfica de la disminución para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes

Cálculo exacto de probabilidades

pH	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	W	p
3.4	Especies	Turbidez	Chocho	Guarango	23.77	13.7	13	0.3
4	Especies	Turbidez	Chocho	Guarango	28.63	32.87	7	0.2
7	Especies	Turbidez	Chocho	Guarango	182.8	120.73	15	0.1

La figura 32 y la tabla 20 reflejan los resultados de disminución de turbidez para cada una de las especies por nivel de pH, respectivamente. Al ver gráficamente y numéricamente que las cajas no son semejantes, se evidencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las especies para cada uno de los pH, por cuanto el p valor 0.3,0.2,0.1 respectivamente para cada pH.

Destacando el pH de la muestra (3.4), el mismo que presenta la media con el menor valor de 13.7 para la especie guarango (1 ml), lo que significa que este tratamiento es el más eficiente de todos; de igual manera, los tratamientos más semejantes son los del pH 4, esto ocurre ya que presentan estadísticamente un valor W (wilcoxon) de siete, y este estar más próximo al número 1 se acepta la similitud.

Los resultados comparados con estudios similares, como el de Cobos & Ribeiro (2014), que muestra una disminución de turbidez en 2,18 NTU utilizando biocoagulante a partir de semillas de *M. olifera* en aguas residuales de un proceso de filtración de textiles sintéticos, con porcentajes del 90%.

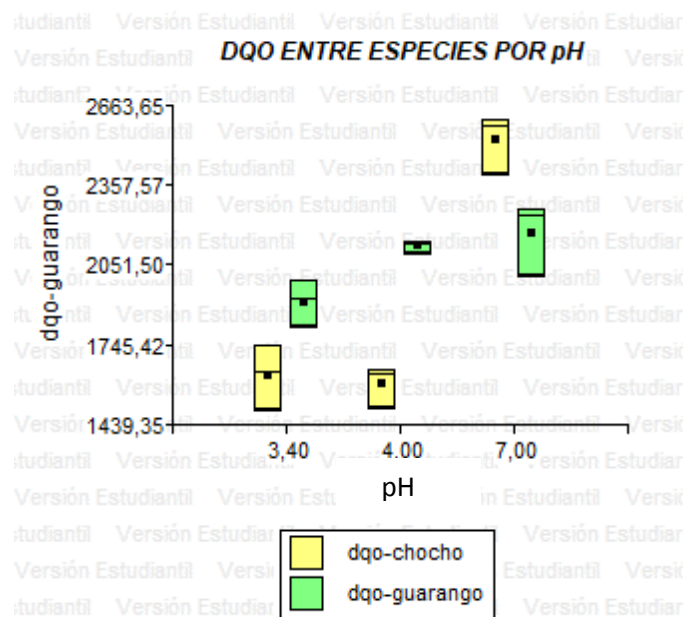


Figura 33. Representación gráfica de la disminución de DQO para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Tabla 23.

Resultados estadísticos de la representación gráfica de la disminución de DQO para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Prueba T para muestras Independientes

pH	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	T	p
3.4	Especies	DQO	Chocho	Guarango	1625.67	1908.67	-3.24	0.0316
4	Especies	DQO	Chocho	Guarango	1597.67	2125	-10.77	0.0004
7	Especies	DQO	Chocho	Guarango	2530.33	2172.33	3.35	0.0285

La figura 33 y la tabla 21 reflejan los resultados de disminución de DQO para cada una de las especies por nivel de pH respectivamente, Al ver gráficamente y numéricamente que las cajas no son semejantes existe estadísticamente una diferencia entre las especies para cada uno de los pH.

Destacando el pH de la muestra (4) el mismo que presenta la media con el menor valor de 1597.67 (35.6%) para la especie chocho (1 ml), lo que significa que es el tratamiento más eficiente de todos; de igual manera, los tratamientos más diferentes son los del pH 4; por que presentan estadísticamente un valor T (prueba T) de -10.77, y este estar más distante al número 1 en relación a los demás valores, se acepta la diferencia.

Estudios ejecutados con taninos de mimosa, muestran resultados similares de disminución de DQO en 37,40 % efluentes de apicultura (Costa, 2016). La similitud se explica por el hecho de los efluentes comparados son de origen orgánico.

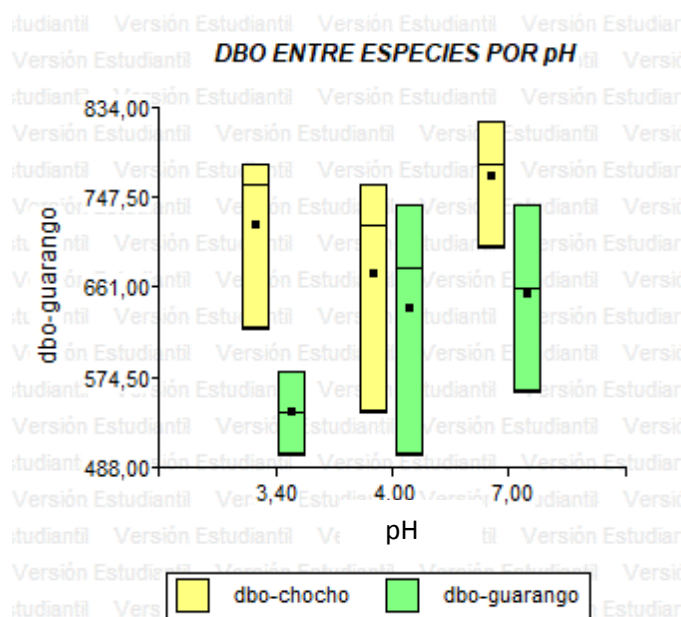


Figura 35. Representación gráfica de la disminución de DBO_5 para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Tabla 24.

Resultados estadísticos de la representación gráfica de la disminución de DBO_5 para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Prueba T para muestras Independientes

pH	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	T	p
3.4	Especies	DBO_5	Chocho	Guarango	720	540	3.25	0.0314
4	Especies	DBO_5	Chocho	Guarango	673.33	640	0.34	0.753
7	Especies	DBO_5	Chocho	Guarango	766.67	653.33	1.8	0.1459

La figura 35 y la tabla 22 reflejan los resultados de disminución de DBO_5 para cada una de las especies por nivel de pH respectivamente, Al ver gráficamente y numéricamente que las cajas no son semejantes existe estadísticamente una diferencia entre las especies para cada uno de los pH.

La muestra con pH (3.4), presenta la media con el menor valor, de 540 para la especie guarango (1 ml), siendo por lo tanto el más eficiente de todos; de igual manera; los tratamientos más semejantes son los del pH 4 debido a que

presentan estadísticamente un valor T (prueba T) de 0.34, y este estar más próximo al número 1 se acepta la similitud.

Un estudio de tratamiento de aguas residuales de una central de rastro, se empleó polvo de semilla de *M. oleífera* como biocoagulante, obteniendo un porcentaje de remoción de DBO₅ del 55.2 %, un pico de remoción de 76,57%., la razón de la diferencia puede deberse a que en este estudio se aplicó el biocoagulante (Arias, 2017).

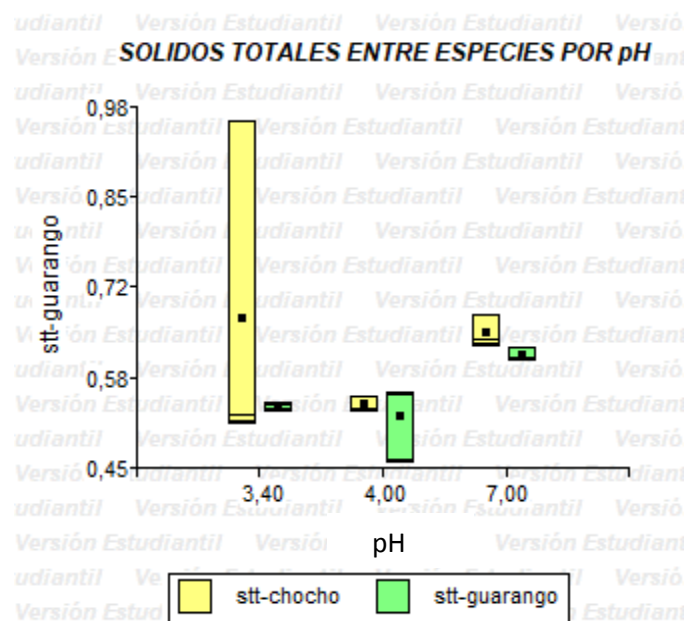


Figura 37. Representación gráfica de la disminución de STT para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Tabla 25.

Resultados estadísticos de la representación gráfica de la disminución de STT para los dos biocoagulantes por niveles de pH.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes

Cálculo exacto de probabilidades

pH	Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media (1)	Media (2)	W	p
3.4	Especies	STT	Chocho	Guarango	0.67	0.54	9	0.7
4	Especies	STT	Chocho	Guarango	0.54	0.53	9	0.7
7	Especies	STT	Chocho	Guarango	0.65	0.62	15	0.1

La figura 37 y la tabla 23 reflejan los resultados de disminución de STT para cada una de las especies por nivel de pH respectivamente, Al ver gráficamente y numéricamente que las cajas no son semejantes existe estadísticamente una diferencia entre las especies para cada uno de los pH.

El pH de la muestra (4) presenta la media con el menor valor de 0.53, para la especie guarango (1 ml); lo que lo convierte en el más eficiente de todos; de igual manera los tratamientos más diferentes son los del pH 7 ya que presentan estadísticamente un valor W (wilcoxon) de quince, y este estar más distante al número 1 en relación a los demás valores, se acepta la diferencia.

Estudios similares muestran valores de disminución de STT en 25.09% utilizando taninos, en la emulsión de polimerización de SBR (Oliveira, 2013).

Tabla 26.

Resultados de especie predominante por cada nivel de pH

Dosis	pH	Parámetros			
		Turbidez	DQO	DBO	STT
1 ml	3.4	Guarango	Chocho	Guarango	Guarango
1 ml	4	Chocho	Chocho	Guarango	Guarango
1 ml	7	Guarango	Guarango	Guarango	Guarango

La tabla 24 representa que especie es predominante por cada nivel de pH, está evaluación se basó según los resultados estadísticos de las medias para cada

una de las especies. A partir de estos resultados se valoraron las hipótesis donde se determinó que la H₂ (El biocoagulante de la especie vegetal guarango es más eficiente) siendo la que se aprueba estadísticamente.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos tienen una gran inclinación hacia los pH ácidos, tales como los de la muestra inicial (3,4) y pH 4, esto ocurre ya que existen diferentes tipos de coagulación. La coagulación de esta investigación fue por barrido, porque el medio líquido tratado era claro, es decir con una turbiedad no elevada, y las partículas en la carga coloidal son relativamente pequeñas.

Las características del agua residual también aportan a que el proceso de coagulación ocurra en medios ácidos, debido a que esta tiene una concentración baja de coloides y su baja alcalinidad. También existe influencia de la dosis del coagulante y de la manera como este fue aplicado y los tiempos de mezcla (Cárdenas, 2000).

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Basados en información bibliográfica, se seleccionaron especies vegetales nativas de gran abundancia en el Ecuador, como: el Guarango (*Caesalpinia spinosa*) y el Chocho (*Lupinus mutabilis*).

A partir de metodologías de laboratorio se extrajo el tanino, este proceso se llevó a cabo estrictamente mediante la técnica de obtención que esencialmente consistió en tamizar, calentar, mezclar, diluir y filtrar.

En la etapa de dilución, se logra extraer el tanino vegetal en mayor parte, por eso fue sustancial la cantidad de alcohol (metanol) con el cual diluir, siendo para este estudio 1:100 la más efectiva. El biocoagulante de las dos especies vegetales se realizó con esta dilución.

La dosis adecuada para la remoción de los parámetros establecidos que fueron la turbidez, DQO, DBO₅ y STT fue de 1 ml de biocoagulante por especie. La dosis de 5 ml de biocoagulante, generó resultados positivos para algunos parámetros, pero alteró la DQO y DBO₅, debido al aporte de concentración orgánica al diluir con el metanol al 99%.

La efectividad de los taninos vegetales como biocoagulantes se confirmó por los porcentajes de remoción alcanzados por cada una de las especies, para la especie Guarango fueron: 94.84 % de remoción de turbidez; 21.07 % de DQO; 76.57 % de DBO₅ y 30.8 % de STT. Mientras que, para la especie Chocho: fueron 7.2 % de remoción de turbidez; 35.06 % de DQO; 76.54 % de DBO₅ y 21.98 % de STT.

El poder coagulante del tanino, es debido a que nunca se aplicó un floculante y la decadencia de partículas; ocurrió de manera natural. El proceso de coagulación-floculación fue medido a las 24 horas.

Se evidenció la eficiencia del biocoagulante a los tres tipos de pH experimentales. La eficiencia depende del tipo de coagulación, del tipo de agua a tratar y de la metodología de aplicación del coagulante natural.

Del análisis estadístico de los porcentajes de remoción se concluye que el biocoagulante de la especie vegetal Guarango es más eficiente, ya que este alcanzó superioridad de remoción por cada parámetro en los tres diferentes pH establecidos. Esto se determinó a partir de las medias obtenidas estadísticamente, la especie que presentó un mayor valor en el número de medias para cada uno de los tratamientos fue la sobresaliente frente a la otra, el Guarango mostró mejoría con 9 medias con valor superior frente al Chocho que obtuvo 3 medias por encima (Tabla 26). Con esto se aprobó la H_2 que expresa “El biocoagulante de la especie vegetal guarango es más eficiente”.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda desarrollar investigaciones con otras especies nativas que presenten características similares, de las cuales se pueda extraer biocoagulantes.

Escalar los resultados obtenidos en el estudio a escala de laboratorio, a un prototipo o modelo de planta de tratamiento industrial donde se trabaje con biocoagulantes a base de taninos vegetales.

REFERENCIAS

- Almeida, T. D., mai, B. F., & Puget, F. P. (2016). EXTRAÇÃO DE TANINO CONDENSADO DA CASCA DO CAFÉ CONILON E USO DESTES COMO COAGULANTE PARA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DA ÁGUA. *trainee de processos, Cooperativa Agrária Agroindustrial*, 1(1), 1-26. doi:10.18677/Enciclopedia
- Alvarez, E. (2012). Taninos hidrolizables y condensados:naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia*, 6(2), 84-93. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v6n2/data/Taninos_hidrolizables_y_condensados_naturaleza_quimicaventajas_y_desventajas_de_su_consumo.pdf
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2015). AGENTES NATURALES COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA. *Facultad de ciencias básicas*, 11(2), 136-158. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Argadoña, L. E., & Macías, R. G. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, Cantón Portoviejo, durante el periodo de marzo a septiembre 2013. *Scielo*, 1, 211-236. Recuperado el 08 de Marzo de 2019, de http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION_DE_SOLIDOS_TOTALES%2C_SUSPENDIDOS%2C_SEDIMENTADOS_Y_VOLATILES.pdf
- Arias, A. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. oleífer como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 1(1), 11. Recuperado el 08 de Marzo de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea04.pdf>

- Banchon, C., Baquerizo, R., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. doi:10.29019/enfoqueute.v7n4.118
- Barajas, C. (2015). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN. En A. Leon. Bogotá. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1>
- Barrezueta, H. D. (2015). LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. *Ediciones Legales*, 1-23. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de https://www.etapa.net.ec/Portals/0/TRANSPARENCIA/Literal-a2/LEY-ORGANICA-DE-RECURSOS-HIDRICOS_-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf
- Bedoya, O. A. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN SISTEMAS ANAEROBIOS TIPO UASB. *Scielo*, 7(2), 8. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Beltrán-Heredia, J., Sañchez-Martín, J., & Martín-Sañchez, C. (2011). Remediation of dye-polluted solutions by a new tannin-based coagulant. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50(2), 686-963. doi:10.1021/ie101148y
- Castañeda, B. C., M, R. M., & Castillo, F. G. (2008). Probiótico elaborado en base a las semillas de *Lupinus mutabilis* sweet. *Acta Med Per*, 25(4), 210-215. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/amp/v25n4/a05v25n4.pdf>
- CEPAL. (2012). *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR*

- Codigo Organico del Ambiente. (2017). *Ministerio Del Ambiente*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Crites, R. W., Middlebrooks, E. J., & Reed, S. C. (2010). *Natural Wastewater Treatment Systems* (1st Edition ed.). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420026443>
- Cruz, D. A. (2016). *UCE*. Recuperado el 11 de Junio de 2019
- Cuenca, E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. *Quivera*, 14(1), 78-97. Recuperado el 12 de Febrero de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Denicia, V. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Redalyc*, 16(73), 26-31. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/294/29411996004.pdf>
- Fang, G. (2007). Evaluation and Performance of a Tannin-based Polymer as a Coagulant in Water Treatment. *Environmental Engineering*, 286. Recuperado el 21 de Junio de 2019
- FLÓREZ, J. M. (2010). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO . *DYNA*, vol. 78(núm. 165). Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>
- Galárraga-Sánchez, R. H. (2019). *Cepal*. Recuperado el 09 de Junio de 2019, de <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- García, G. (s/f). *Salud Pública y AP de Salud*. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Contaminacion%2520del%2520agua.pdf>
- GARCÍA, M. E., & LÓPEZ, J. P. (s.f). *CIDTA*. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de

http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Precipitacion_quimica_ablandamiento.pdf

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. (2003). *CEPAL*. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de https://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/actividades_nacionales/ecuador/1/taller1.pdf

Gómez, I., Huovinen, P., & Valdivia, N. (2018). *Macroalgas Antárticas y cambio climático*. Chile. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/328736922_Florotaninos_compuestos_esenciales_para_la_fotoproteccion_Phlorotannins_key_compounds_involved_in_photoprotection

González, *. A. (2014). *THE WASTE MANAGEMENT OF THE DAIRY INDUSTRIES*. Recuperado el 23 de Octubre de 2019, de <http://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2605/1/Gesti%C3%B3n%20Residuos%20Industria%20Lactea.pdf>

Grend, K., Arnold, J., Hunkeler, D., & Rasteiro, M. G. (2016). MIMOSA METANNIN-BASED COAGULANTS IN DECOLOURATION. *CIEPQPF-Research*. Recuperado el 14 de Marzo de 2019

Groot, O. J. (2018). *Naciones Unidas*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43236/1/S1800075_es.pdf

GTZ-SNV. (2004). *ANÁLISIS DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LA TAYA EN LA REGIÓN CAJAMARCA*. Peru. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de <http://www.asocam.org/node/52512>

Gutiérrez, C. M. (2013). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/284446077_Plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_Filtros_percoladores

Guzmán, L., & Villabona, Á. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. 253-

262. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES. *U.D.C.A Act. & Div*, 253 - 262. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- J, Ž., I, M., Z, Z., G, N., S., V., & A, M. (2009). EXTRACTION AND ANALYSIS OF CONDENSED TANNINS IN CASTANEA SATIVA MILL. *Castanea*, 3(10), 283-288. Recuperado el 22 de Junio de 2019
- Játiva, S. (2006). *Espe*. Recuperado el 05 de Marzo de 2019
- Jessica Camile da Costa Palotina. (2016). Uso do coagulante orgânico tanino no tratamento de efluente de abatedouro avícola. *Researchgate*, 1-30. Recuperado el 14 de Marzo de 2019, de <http://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/47388>
- Khade, S., & Rodrigues, B. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE RASTRO MEDIANTE SEMILLAS DE Moringa oleifera LAM COMO COAGULANTE. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(6), 523-529. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/939/93911238011.pdf>
- Korbut, S. (2008). *Ingeniero Ambiental*. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de <http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>
- Leal, J. C., Panta, C. A., Ferrín, A. I., Cabo, P. A., & Rodríguez, L. M. (2015). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a03.pdf>
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C. M., & Delgado, A. R. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 419-425. Recuperado el 09 de Junio de 2018, de <http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n3/a02v44n3.pdf>

- Leitea, A. J., Lima, E. C., Reisa, G. S., Thuea, P. S., Sauciera, C., Rodembuscha, F. S., . . . Dottoc, G. L. (2017). Hybrid adsorbents of tannin and APTES (3-aminopropyltriethoxysilane) and their application for the highly efficient removal of acid red 1 dye from aqueous solutions. *ELSEVIER*, 5(5), 4307-4318. doi:10.1016/j.jece.2017.08.022
- León, E. (2005). El Chocho proteína vegetal y potencial económico. *Desafío*, 1-11. Recuperado el 01 de Julio de 2019
- León, S. L., Cervantes, C. A., Pérez, D. M., & Montalvo, I. A. (2017). Vegetable coagulants as alternative for treatment of wastewater in Mexico. *Journal*, 2(12), 687-694. doi: 10.19230/jonnpr.1650
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 73-82. doi:10.4067/S0718-07642014000300010
- López, P. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Scielo*, 7(1), 13 - 21. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n1/1390-6542-enfoqueute-7-01-00013.pdf>
- Luis Arturo Torres Castañón¹, L. A., Infante, J. A., Rosales, M. D., & Rodarte, F. S. (2017). EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL PODER COAGULANTE DE EXTRACTOS NATURALES EMPLEADOS EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. *AMIDIQ*, 111-15. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <http://productividad.cimav.edu.mx/productividad/adjuntos/expediente/500/ARTICULO CONGRESO.pdf>
- Maigua, M. E. (2010). *Epoch*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/2299/1/27T0205.pdf>

- Marín, L. F. (2014). *ESTUDIO DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS POLIFENOLES DEL VINO Y SUS APLICACIONES BIOLÓGICO-PREVENTIVAS*. Recuperado el 18 de Junio de 2019
- Marco, L., Metzler, R. A., & Garcia, M. d. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 82, 72-82. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de [http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Martel, A. B. (s.f). *COAGULACIÓN*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>
- Martelo, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *SciELO*, 8(15), 221–243. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Mayorga, A. d. (2010). *Bitstream*. Recuperado el 22 de Octubre de 2019, de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3947/1/P.AL241.pdf>
- Mendoza, Z. A. (2012). *Dendrología del sur del Ecuador*. Loja, Loja, Ecuador. Recuperado el 20 de Junio de 2019
- Milán, P. M. (2002). *Agenda Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luis de Potosí*. Recuperado el 06 de Junio de 2019, de <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021017.pdf>
- Ministerio Del Ambiente. (2017). *Ministerio Del Ambiente*. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de <http://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>
- Muñoz, J. d. (s.f.). Sistemas blandos de depuración no convencionales. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de

<https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%203%20a%204.pdf>

- Musa, A., & Gasmelseed, G. (2012). Characterization of Lawsonia inermis (Henna) as Vegetable Tanning Material. *JOURNAL OF FOREST PRODUCTS & INDUSTRIES*, 1(2), 35-40. Recuperado el 17 de Junio de 2019, de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32075908/vol1-no2-5_%281%29.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCharacterization_of_Lawsonia_inermis_Hen.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190
- Nieto, C. (2011). Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarlas. En E. Isch. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Núñez, M. E. (2015). *EL TARWI, LUPINO ANDINO*. (C. G. SAC, Ed.) Huaylas, Perú. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de <http://fadvamerica.org/wp-content/uploads/2017/04/TARWI-espanol.pdf>
- Olivas, F. J., Medrano, A. W., González, G. A., & Parrilla, E. Á. (2015). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos. *Nutricion Hospitalaria*(31), 55-66. doi:10.3305/nh.2015.31.1.7699
- Osorio, P. C. (2012). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. *Scielo*, 18. Recuperado el 25 de Junio de 2019
- Osorno, H. A. (2009). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. *Scielo*, 103. doi:10.2174/138920312803582960
- PEÑATE, I. Q. (2009). *Universidad de toulouse*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000912/01/quesada.pdf>

- Planchuelo, A., & Fuentes, E. (2018). EL TARWI O CHOCHO: UNA DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE PROTEÍNA VEGETAL DE LAS COMUNIDADES INDÍGENAS DE LOS ANDES CENTRALES. *Argentina de Antropología Biológica*, 7(1), 159. Recuperado el 01 de Julio de 2019
- Pozo, M., Serrano, J. C., Castillo, R., & Moreno, L. (2016). Recuperado el 10 de Junio de 2019, de Indicadores ODS de agua, saneamiento e higiene en el Ecuador: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Diagnostico_ASH_pobreza_INEC_BM.pdf
- Proaño, R. G., & Gualoto, K. J. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARGAS INDUSTRIALES CON OXIDACIÓN AVANZADA EN SISTEMAS CONVENCIONALES. *Scielo*, 27(1), 103-111. doi: <http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018>.
- Pulido, H. G. (2008). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS* (Segunda ed., Vol. 2). Bogotá, Colombia: Editorial Mexicana. Recuperado el 16 de Mayo de 2019
- Pulla, E. P. (2007). Calidad De Agua Trabajo De Investigación Oxígeno Disuelto (O₂) Estudiante. *Scielo*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Quinto, E. (2012). *La Tara en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la cadena productiva en la región*. (primera ed., Vol. 1). (G. Medina, & P. d. Rham, Edits.) Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 20 de Junio de 2019
- Ranilla, L. G. (2009). Isoflavones and antioxidant capacity of Peruvian and Brazilian lupin cultivars. *ELSEVIER*, 22, 397-404. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157508001646>
- Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia*

- spinosa. *Scielo*, 6(1), 1-12. Recuperado el 05 de Marzo de 2019, de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/50>
- Ricardo, T. R., Gisela, M. A., Beleño, Triny, C. M., & Enrique, R. U. (2014). EVALUACIÓN DE TANINOS CONDENSADOS EN PAJA DE TRIGO Y CORTEZA DE VARA DE ALGODÓN DEL VALLE DE MEXICALI, MÉXICO. *Researchgate*, 1(2), 509-514. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282328841_EVALUACION_DE_TANINOS_CONDENSADOS_EN_PAJA_DE_TRIGO_Y_CORTEZA_DE_VARA_DE_ALGODON_DEL_VALLE_DE_MEXICALI_MEXICO
- Rivas-Romero, S., Menés-Vuelta, G., & RómuloRodríguez, A. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. 173-183. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>
- Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2015). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio. *y su uso para clarificación de agua*, 14(3), 16-23. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/237039040_Sintesis_de_un_polimero_inorganico_de_aluminio_y_su_uso_para_clarificacion_de_agua
- Ruíz, Á. A., & Giraldo, L. F. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Scielo*, 1-8. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Spenagroup. (s.f). *Spenagroup*. Recuperado el 22 de Octubre de 2019, de <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-la-industria-lactea/>
- Tafur, A. V., Mogollón, E. A., Riofrío, A. Z., & Taboada, F. T. (2011). PROPUESTA DE MEJORA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA EMPRESA PESQUERA. *ELSEVIER*, 1-39. Recuperado el 16 de Junio de 2019
- Torre, L. d., Muriel, P., & Balslev, H. (2006). Etnobotánica en los Andes del Ecuador. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 246-267. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de

<http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2016.pdf>

Urieta, S. C., Ochoa, H. G., & Rutiaga, J. G. (2013). CONTENIDO DE TANINOS EN LA CORTEZA DE DOS ESPECIES DE PARÁCATA. *CHAPINGO*, 19(1), 115-124. doi:<http://www.redalyc.org/pdf/629/62926254009.pdf>

Valencia, R., Alarcón, J. S., Ortiz, E., & Gomez, J. L. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista. (r. d. UACJ, Ed.) *ResearchGate, Volumen V*, 19. Recuperado el 06 de Junio de 2019

Vázquez, A. A., Parrilla, E. A., López, J. A., Medrano, A. W., & Rosa, L. A. (2014). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *TECNOCENCIA*, 6(2), 84-93. Recuperado el 18 de Junio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/264237320_Taninos_hidrolizables_bioquimica_aspectos_nutricionales_y_analiticos_y_efectos_en_la_salud

Velásquez, E. B. (2014). *La Biodeversidad en el Ecuador*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universitaria Abya-Yala. Recuperado el 20 de Junio de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf>

Villanueva, C. (2007). *La Tara El Oro Verde de los Incas*. (E. AGRUM, Ed.) Peru. Recuperado el 20 de Junio de 2019

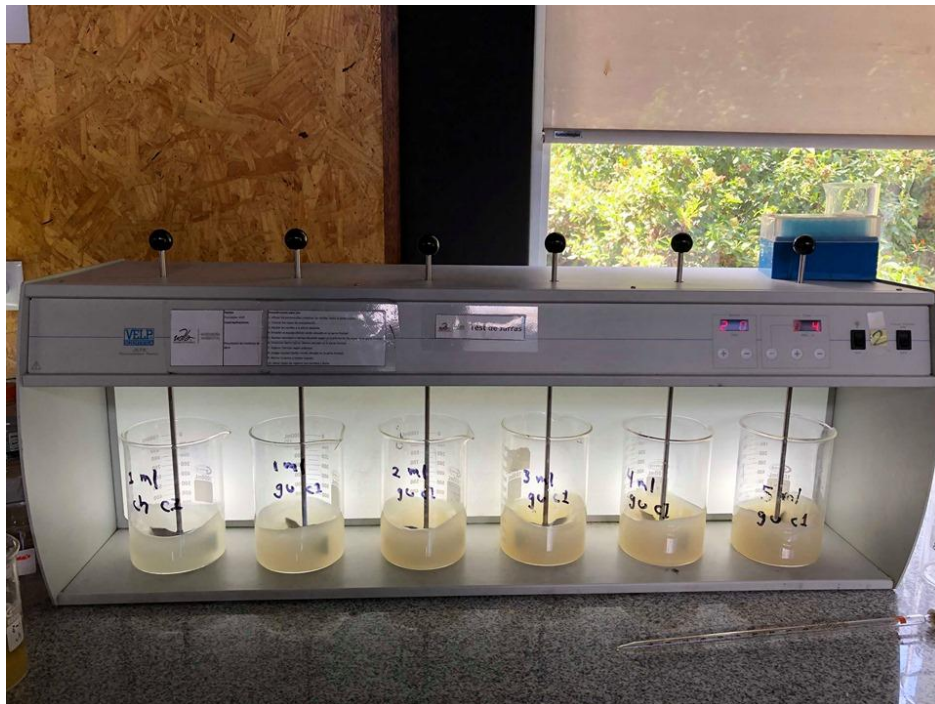
Zamora, R. M., Moreno, A. D., Martínez, A. B., & Velásquez, M. O. (2006). PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: DESARROLLO Y UTILIZACIÓN DE NUEVOS COMPUESTOS PARA LA REDUCCIÓN DE. *Unam*, 1-10. Recuperado el 16 de Junio de 2019, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R->

0199.pdf%5Cnhttp://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/59/66/3330.pdf

Zolett, E. R., & Jabur, A. S. (2013). USO DE POLÍMERO NATURAL A BASE DE TANINO (TANFLOC) PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1-8. Obtenido de https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/f3e044f81c8cf1a6bc3bde55ce83efc0_a228bfaef3c220a95cd7de6689ba084e.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Biocoagulación con la especie chocho en el test de jarras.



Anexo 2. Biocoagulación con la especie Guarango en el test de jarras.



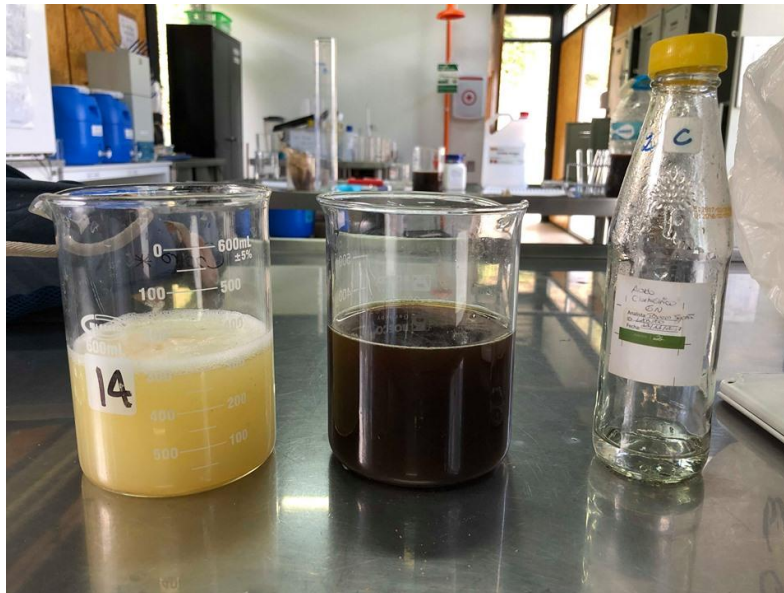
Anexo 3. Dosificación y filtrados de los biocoagulantes.



Anexo 4. Filtración final con bomba a presión del biocoagulante.



Anexo 5. Biocoagulantes hidrolizados con ácido clorhídrico.



Anexo 6. Agitación y calentamiento del biocoagulante



Anexo 7. Adición del alcohol para la extracción del tanino.



Anexo 8. Reposo del agua tratada con el biocoagulante para sedimentación.



